Der Tuff des Heilsberges bei Gottmadingen/Hegau

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung des Grades eines Doktors

der Naturwissenschaften

der

Mathematisch-naturwissenschaftlichen Fakultät

der

Eberhard-Karls-Universität

zu Tübingen

vorgelegt von

Dietbert Knöfel

aus Ebersbach/Krs. Löbau

7201

1962

DER TUFF DES HEILSBERGES BEI GOTTMADINGEN/HEGAU

I n a u g u r a l - D i s s e r t a t i o n

zur Erlangung des Grades eines Doktors

der Naturwissenschaften

der

Mathematisch-naturwissenschaftlichen Fakultät

der

Eberhard-Karls-Universität

zu Tübingen

vorgelegt von
Dietbert Knöfel
aus Ebersbach/Krs.Löbau
1962

8901/62

Tag der mündlichen Prüfung: 12.7.1962
Dekan: Prof.Dr.K.G.Grell
1.Berichterstatter: Prof.Dr.W.v.Engelhardt
2.Berichterstatter: Prof.Dr.R.Schönenberg

INHALTSVERZEICHNIS

1.EINLEITUNG.....3

1.1.Historisches,geographische Lage,Anlage des Steinbruches,Verwendung des Gesteins,Aufschlußverhältnisse..3

1.2.Problemstellung.....4

2.GEOGNOSTISCHE UNTERSUCHUNG.....5

3.PETROGRAPHISCHE UNTERSUCHUNG.....8

3.1.Probenahme,Aussehen,Gefüge,Konsistenz,Porosität, Permeabilität.....8

3.2.Untersuchungsmethoden.....8

3.3.Aufbereitung.....10

3.4.Korngrößenverteilung.....10

3.5.Übersicht über die Bestandteile.....13

3.6.Magmatogene Komponenten.....15

3.6.1.Einzelminerale.....15

3.6.1.1.Pyroxen (Salit).....15

3.6.1.2.Amphibol (Fe-haltiger Edenit).....17

3.6.1.3.Biotit (Meroxen).....19

3.6.1.4.Magnetit,Ilmenit,Pyrit.....20

3.6.1.5.Apatit.....22

3.6.1.6.Analcim.....23

3.6.1.7.Sanidin.....23

3.6.1.8.Perowskit.....23

3.6.1.9.Weitere Pyroxene:Enstatit,Pigeonit, Ägirinaugit.....23

3.6.1.10.Melilith.....24

3.6.1.11.Granat.....25

3.6.1.12.Zeolithe.....25

3.6.1.13.Gips.....25

3.6.1.14.Gehalt magmatogener Einzelminerale in den Korngrößenfraktionen.....26

3.6.2.Bindemittel.....27

3.6.3.Auswürflinge.....28
3.6.3.1.Lapilli.....28
3.6.3.2.Bomben.....33
3.6.3.2.1.Dunkle Bomben.....33
3.6.3.2.2.Helle Bombe.....41
3.6.3.3.Tuffauswürflinge.....42
3.6.3.4.Tuffitauswürflinge.....42
3.6.4.Gänge.....43
3.7.Magmenfremde Komponenten.....43
3.7.1.Einzelminerale.....43
3.7.2.Auswürflinge.....44
3.7.2.1.Magmatische Gesteine.....45
3.7.2.1.1.Tiefengesteine.....45
3.7.2.1.2.Ergußgesteine.....47
3.7.2.2.Metamorphe Gesteine.....48
3.7.2.3.Sedimentgesteine.....48
3.7.2.4.Fluviatile Gerölle.....50
3.7.3.Holzeinschluß.....51

4.VULKANOLOGISCHE ERGEBNISSE.....52
4.1.Vulkanbau.....52
4.2.Vulkanische Tätigkeit.....53
4.3.Magmentyp.....55
4.4.Namengebung.....56
4.5.Differentiation des Heilsbergmagmas.....57
4.6.Einfluß des Magmas auf die Auswürflinge.....62

5.ALTERSBESTIMMUNGEN.....64

6.VERGLEICH MIT DEN MELILITHITEN UND PHONOLITHEN DES HEGAUS.....65

7.ZUSAMMENFASSUNG.....67

8.LITERATURVERZEICHNIS.....70

1.EINLEITUNG

1.1.Historisches,geographische Lage,Anlage des Steinbruches, Verwendung des Gesteines,Aufschlußverhältnisse

Die morphologisch auffallenden Gesteine des Hegaus wurden seit früher Zeit geologisch und petrographisch untersucht. So fertigte bereits 1828 C.G.Gmelin eine chemische Analyse des Phonoliths vom Hohenkrähen an.Die älteste Mitteilung über einen Tuff des Hegaus erschien 1853 im Neuen Jahrbuch für Mineralogie,Geologie,Geognosie und Petrefakten-Kunde von B.Cotta,der von dem Steinbruch südlich vom Hohentwiel u.a."eine große Menge kleiner Lava-Kugeln von Erbsen- bis Nuss-Größe",die "als Kern ein kleines Stückchen Granit oder Gneis" enthalten,erwähnt.Besondere Beachtung fanden bei den früheren Untersuchungen die markanten Phonolithe und "Basalte" (Melilithite).
L.Erb 1931 schätzt das Volumen der abgelagerten Tuffe auf 10 km^3.Obwohl seither sehr viel abgetragen wurde,bilden sie auch heute noch,im Vergleich zu den Phonolithen und Melilithiten,den weit größeren Volumenanteil.Die Phonolithe und Melilithite sind in ihren Schloten erstarrt und jetzt herauspräpariert.
Die erste und bisher umfassendste Arbeit über die Decken= tuffe des Hegaus verfaßte J.Erb 1900.Zur Zeit stehen am Institut für Mineralogie und Petrographie der Universität Tübingen weitere Arbeiten über die vulkanischen Gesteine des Hegaus von von Engelhardt und seinen Mi tarbeitern vor dem Abschluß.
Der Heilsberg liegt am Nordrande der Gemeinde Gottmadingen. Seine Morphologie bildete sich während der Glaziale.In dieser Zeit wurde der Tuff am Südhang des Berges durch Gletscher angeschnitten (Schmidle 1949).Der Tuff erscheint morphologisch als Härtling.Das Vorkommen ist in der Geolo= gischen Spezialkarte von Baden (1:25 000) Blatt Hilzingen 1931 (L.Erb),sowie in der Geologischen Übersichtskarte von

Baden-Württemberg (1:200 000) Blatt 3 (Geol.Abt.d.Württ. Statist.L.A.) 1931 eingetragen.Seine Koordinaten sind 47°44'29''nördl.Breite und 26°20'39''östl.Länge.
In einem aufgelassenen Steinbruch,500 m nördlich des Bahnhofs Gottmadingen,ist das Gestein aufgeschlossen.Der Steinbruchbetrieb begann sehr früh.Bereits im Jahre 1828 wurde dieses Gestein zum Bau des ersten Schulhauses der Gemeinde Gottmadingen verwandt.Man benutzte es auch als Wegeschotter. Um 1890 wurde der Abbau wieder eingestellt (mündliche Mitteilung von Oberlehrer Schwab/Gottmadingen).Die Steinbruchwand ist bis zu 8 m hoch und 50 m lang.Dieses Gestein wurde früher,neben anderen z.B.von Buri 1910,als "Phonolithtuff" bezeichnet.

1.2.Problemstellung

Da bisher die Phonolithe (Cushing und Weinschenk 1892) und Melilithite (Leopold 1940) petrographisch gründlicher bearbeitet worden waren,sollten mit dieser Arbeit moderne Methoden zur Untersuchung von Tuffen angewendet werden.Es war das Ziel,die einzelnen magmatogenen sowie fremden Mineral- und Gesteinskomponenten qualitativ und quantitativ zu erfassen.Weiterhin sollten aus dem Chemismus des magmatogenen Anteils Angaben über das Magma und gegebenenfalls über seine Entwicklung gemacht werden.Die Bestimmung der mannigfaltigen Fremdgesteinseinschlüsse lieferte einen Beitrag zur Klärung des Untergrundes.All diese Beobachtungen sollten als Grundlage für die Untersuchung der vulkanischen Tätigkeit dienen.
Hierfür wurde der schlotnahe Tuff des Heilsberges gewählt, da dort das Gestein in einer großen Steinbruchwand gut aufgeschlossen ist.Man konnte aus einer großen Fläche weit verteilte Proben entnehmen,die einen guten petrographischen Querschnitt erwarten ließen.Außerdem bieten Aufschlüsse in unmittelbarer Nähe eines Eruptionszentrums mehr Beobachtungs=

möglichkeiten,die zur Klärung der vulkanischen Tätigkeit beitragen können,als eine Tuffdecke.

2.GEOGNOSTISCHE UNTERSUCHUNG

F.Schalch 1883 vermutete für die verfestigten vulkanischen Lockerprodukte vom Heilsberg einen "eigenen Auswurfsherd in der Nähe". L.Erb wies 1931 darauf hin,daß hier ein Schlot angeschnitten sei.Er begründete dies mit den bis zu m^3-großen Haldenhofmergeleinschlüssen,die,falls sie durch die Luft geschleudert worden wären,beim Aufprall zerfallen wären. Daraus könnte man folgern,daß der Aufschluß unter der Erd= oberfläche der Eruptionszeit,d.h.im Schlotinnern läge.Dieses Argument wird entkräftet,da im Aufschluß eine schüsselför= mige Schichtung merkbar ist (Abb.1).Geschichtetes Material

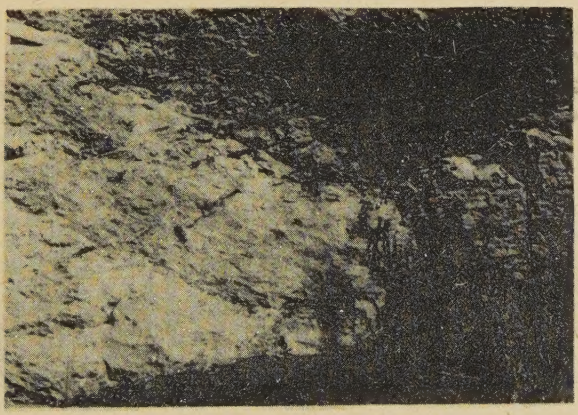

Abb.1 Die Schichtung des Tuffs.Das Bild zeigt einen Aus= schnitt von etwa 7x10 m.

kann sich aber nur ablagern,wo es nicht wieder durch mehr oder minder turbulente Bewegungen durcheinandergebracht wird, d.h.nicht im Schlot.Es kann hier also kein Schlot vorliegen. Wohl aber scheinen die Beobachtungen auf eine Lage in der Nähe des Eruptionszentrums,vermutlich im Explosionskrater, hinzuweisen.Die beobachtete schüsselförmige Schichtung kann sich nicht in einer primären Mulde gebildet haben.In diesem

Falle wäre die Schichtung horizontal.Sie dürfte vielmehr das Ergebnis der Sedimentation im Explosionskrater sein. Dort können einmal große Mergelbrocken,ohne daß sie mit zerstörender Kraft ausgeschleudert wurden und wieder auf= prallten,sedimentiert werden,zum anderen ist die schüssel= förmige Schichtung,wie sie auch bei rezenten Vulkanen auf= tritt,leicht zu erklären.
Lineare an Mergeln der Schichtgrenzen zeigen eine Gleitrich= tung an,sie fällt an der tiefsten Stelle der "Schüssel" mit 20°E.In Übereinstimmung damit erwähnt Schalch 1883,daß die Steinbrucharbeiter ein Einfallen nach E beobachteten.Man kann also annehmen,daß das Eruptionszentrum östlich vom Aufschluß liegt.Da das so konstruierte Zentrum nahe dem Nordrand des aufgeschlossenen Teiles des Tuffs liegt,ist mit großer Wahrscheinlichkeit anzunehmen,daß sich das Ge= stein nach N unter der Moräne fortsetzt.Man erhält so einen elliptischen Umriß des Vorkommens in der Größenordnung 150 m x 400 m,wobei der größere Durchmesser NS orientiert ist und etwa in der Verlängerung der "Immendinger Flexur" streicht.
Im Innern der oben erwähnten schüsselförmigen Schichtung befindet sich ein mehr oder weniger horizontal gelagertes, verfestigtes Lockerprodukt.Petrographisch gleicht es dem es umgebenden Tuff und dürfte durch Zusammenschwemmung nach der vulkanischen Tätigkeit entstanden sein.
Die Schichtung wird durch Materialwechsel oder Korngrößen= unterschiede hervorgerufen.Sie ist aber nicht kontinuierlich durchlaufend.Nach der Nomenklatur von H.Cloos 1941 ist sie als unflächige Lagenschichtung zu bezeichnen.
Das Gestein ist stark geklüftet.Es wurden aber keine bevor= zugten Richtungen festgestellt.
Ein undeutlich geschichtetes,sehr lockeres Sediment überla= gert den Tuff am westlichen Rand des Steinbruches.Es handelt sich um postglazialen Gehängeschutt,der Minerale und Gesteine

aus der Moräne und dem Tuff enthält. - An der oberen Kante des Steinbruches grenzt der Tuff gegen Deckenschotter aus der Mindeleiszeit.
Der Aufschluß liegt stratigraphisch etwa im Niveau der Steinbalmensande (mio 2) und Haldenhofmergel (mio 1).
Das Vorkommen wurde neu kartiert (Abb.2).Dabei ergab sich eine größere E-W-Erstreckung als in der Geologischen Spezialkarte von Baden,Blatt Hilzingen eingetragen ist.Im N wird der Tuff von Deckenschottern der Mindelzeit überdeckt,im E,W und S von dessen Hangschutt begrenzt.

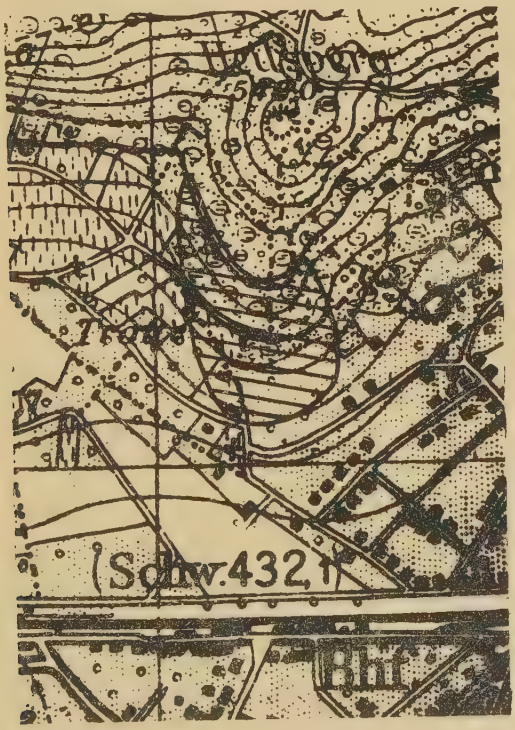

Abb.2 Kartierung des Tuffvorkommens am Heilsberg
(Maßstab 1:6 250)

3.PETROGRAPHISCHE UNTERSUCHUNG

3.1.Probenahme,Aussehen,Gefüge,Konsistenz,Porosität, Permeabilität

Der überwiegende Teil der Proben wurde an verschiedenen, über 40 m auseinanderliegenden Stellen der Steinbruchwand entnommen.Einige Proben,vor allem Fremdgesteinsauswürflinge und Bomben,stammen aus den im Aufschluß am Boden liegenden Gesteinsbrocken.Es wurden aber nur sichere,noch mit dem Tuff verbackene Auswürflinge gesammelt,da viele Gerölle auch aus den hangenden,glazialen Ablagerungen im Steinbruch umherliegen.
Der Tuff sieht im frischen Zustand grau-grün bis grau-blau aus.Meist findet man ihn aber im unfrischen Zustand,dann zeigt er eine grau-braune Farbe,die durch Limonitisierung der Fe-reichen Minerale hervorgerufen wird.
In der feinkörnigen Grundmasse sind einzelne größere Minerale sowie Gesteinstrümmer eingebettet.Die Struktur des Tuffs ist deshalb als porphyroklastisch zu bezeichnen.Die Konsistenz des Gesteins ist so fest,daß es als Baustein verwendet werden konnte.
An einigen Proben wurde versucht die Porosität zu bestimmen,sie ist aber unmeßbar gering,ebenso die Permeabilität.

3.2.Untersuchungsmethoden

Nachdem der Tuff im Wesentlichen durch Glaubersalzsprengung aufbereitet worden war,wurden von den aufbereiteten Proben Sieb- bzw. Schlämmanalysen durchgeführt und danach jede Korngrößenfraktion magnetisch in drei Gruppen (Magnetit, Lapilli,nichtmagnetische Komponenten) geteilt.Die nichtmagnetischen Fraktionen wurden mit Tetrabromäthan (D=2,95) in eine leichte und eine schwere Gruppe getrennt.Diese Trennung war,ebenso wie die magnetische,nur in den groben Korngrößen bis zu 0,04 mm möglich,da bei kleinerem Korndurchmesser die Körner zu stark aneinanderhaften.

Die Anteile der Einzelkomponenten in den groben Fraktionen konnten durch Auslesen unter dem Binokular und Wägen erhalten werden. In den feineren Korngrößen ergab eine Auszählung der einzelnen Komponenten unter dem Mikroskop, in den feinsten Korngrößen ergaben röntgenographische Aufnahmen die qualitativen und quantitativen Anteile der Komponenten. Die Übergangskorngrößen wurden jeweils nach zwei Methoden untersucht: die Korngröße 0,43-0,20 mm gewogen und mikroskopisch ausgezählt, die Korngröße 0,04-0,02 mm mikroskopisch ausgezählt und röntgenographisch bestimmt. Daraus ergab sich, daß nur eine Korrektur für den Magnetit der feinen Korngrößen und den Biotit notwendig war. Beim Magnetit mußte seine Dichte, beim Biotit seine Blättchenform berücksichtigt werden. Die Anteile werden in Gewichtsprozenten angegeben.
Zur magnetischen Trennung wurde ein Handmagnet der Firma Conrad/Clausthal, zur Aufnahme der Röntgendiagramme ein Zählrohrgoniometer (Philips-Müller) verwandt. Zur Identifizierung und Indizierung der Röntgendiagramme diente die ASTM-Kartei sowie Testaufnahmen. Die Dichtebestimmungen erfolgten in Clerici-Lösung oder Tetrabromäthan nach der Schwebemethode.
Den Karbonatgehalt stellt der Lösungsverlust in 4-prozentiger Salzsäure dar. Die chemischen Analysen wurden mit den klassischen Methoden ausgeführt, mit Ausnahme der Alkalien, die flammenphotometrisch bestimmt wurden. Aus den Ergebnissen errechnete man nach Arbeiten von H. Bermann 1937 (Hornblende, Biotit) und H.H. Hess 1949 (Pyroxen) die chemischen Formeln. Mikroskopische Untersuchungen an Pulverpräparaten und etwa 200 Dünnschliffen lieferten die optischen Bestimmungen. Die Fehlergrenze bei der Bestimmung der Brechungsindizes beträgt $\pm$ 0,003.

3.3.Aufbereitung

Es wurden drei Proben,je etwa 500 g,von verschiedenen Stellen des Aufschlusses aufbereitet.Nach einigen Vorversuchen mit den üblichen Aufbereitungsmethoden der Mikropaläontologen ergab sich als wirkungsvollste Kombination eine Aufbereitung mit Wasserstoffperoxyd und Glaubersalz.Das auf etwa 8 cm^3 zerkleinerte Gestein wurde bei 110°C getrocknet. Nachdem sämtliches Wasser aus den Poren entwichen war,wurde die Probe mit Wasserstoffperoxyd übergossen,gekocht und wieder bei 110°C getrocknet.Danach übergoß man die heißen, getrockneten Gesteinsbrocken mit warmer,hochprozentiger Glaubersalzlösung.Die Lösung,die in die feinsten Poren eindringt,erzeugt beim Abkühlen einen starken Kristallisationsdruck.Es kristallisiert $Na_2SO_4 \times 7H_2O$.Nach etwa dreißigfacher Wiederholung der Kristallisationssprengung waren die Einzelbestandteile weitgehendst isoliert.
Diese derbe Aufbereitungsmethode mußte angewandt werden, weil die schonenden Methoden auch noch nach häufigerer Wiederholung nicht zum Erfolg führten.Trotz dieser Aufbereitung wurde eine Korngrößenanalyse durchgeführt.Man muß sich daher dabei bewußt sein,daß die so erhaltenen Werte nicht die ursprüngliche Korngrößenverteilung wiedergeben. So können zum Beispiel im Tuff vorkommende Mergelbrocken durch diese Aufbereitung teilweise zerstört werden.Für eine genetische Deutung sind deshalb die Ergebnisse nicht zu verwenden.

3.4.Korngrößenverteilung

Mit drei aufbereiteten Proben wurden Siebanalysen durchgeführt.Die Korngrößen von 0-0,04 mm sedimentierten in Atterbergzylindern in 0,1-molarer,wässriger Ammoniaklösung.Es ergab sich folgende Verteilung (Tab.1):

	Probe 1		Probe 2		Probe 3	
Korngröße	Gew.-%	Kornsumme	Gew.-%	Kornsumme	Gew.-%	Kornsumme
6,0 mm	1,3	100,0	1,0	100,0	1,4	100,0
6,0 -2,0	7,2	98,7	5,6	99,0	6,3	98,6
2,0 -1,2	5,7	91,5	5,4	93,4	5,3	92,3
1,2 -0,6	29,7	85,8	28,7	88,0	32,5	87,0
0,6 -0,43	13,1	56,1	13,0	59,3	15,0	54,5
0,43-0,2	20,2	43,0	22,1	46,3	19,8	39,5
0,2 -0,06	10,7	22,8	13,7	24,2	7,8	19,7
0,06-0,04	1,8	12,1	1,3	10,5	3,3	11,9
0,04-0,02	2,8	10,3	2,9	9,2	3,2	8,6
0,02-0006	4,3	7,5	4,0	6,3	3,1	5,4
0006-0002	1,4	3,2	0,8	2,3	0,8	2,3
0,002 mm	1,8	1,8	1,5	1,5	1,5	1,5

Tab.1 Korngrößenverteilung der Proben 1-3

Da die Ergebnisse der drei Proben gut übereinstimmten,konnten sie gemittelt werden:

Korngröße	Gewichts-%	Kornsumme
6,0 mm	1,2	100,0
6,0 -2,0	6,4	98,8
2,0 -1,2	5,5	92,4
1,2 -0,6	30,4	86,9
0,6 -0,43	13,6	56,5
0,43 -0,2	20,7	42,9
0,2 -0,06	10,7	22,2
0,06 -0,04	2,1	11,5
0,04 -0,02	3,1	9,4
0,02 -0,006	3,7	6,3
0,006-0,002	1,0	2,6
0,002 mm	1,6	1,6

Tab.2 Korngrößenverteilung der Proben 1-3 gemittelt

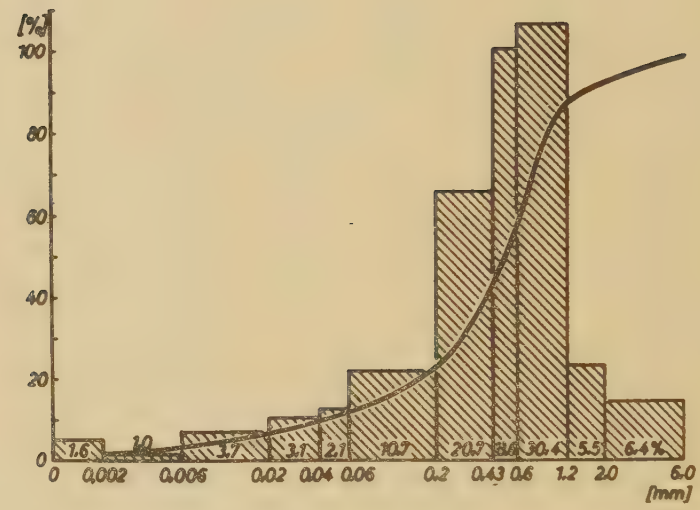

Abb.3 Graphische Darstellung der Kornverteilung des Tuffs

Aus der graphischen Darstellung der Kornverteilung (Abb.3) ergeben sich folgende Werte (in Klammern Werte des Schlot= konglomerates vom Bürzlen nach K.H.Papenfuß 1961):

	Probe 1	Probe 2	Probe 3	gemittelt
Q_1	0,22	0,21	0,25	0,23
Q_3	0,86	0,80	0,86	0,84
Md	0,50	0,48	0,53	0,51 (0,3
So	1,97	1,95	1,85	1,92 (2,5
Sk	0,76	0,73	0,77	0,75

An dem Sortierungskoeffizienten $So = \sqrt{Q_3/Q_1}$ erkennt man, daß der Sortierungsgrad schlecht ist.(H.Füchtbauer 1959).

Die Schiefe der Kurve $Sk = \frac{Q_1 \times Q_3}{Md^2}$ zeigt,daß die feine= ren Anteile überwiegen.

Da die Proben von verschiedenen Stellen des Aufschlusses stammen und makroskopisch eine unterschiedliche Körnigkeit zu haben scheinen,ist ihre Übereinstimmung verblüffend. Diese Annäherung ist vermutlich zum Teil auf die Zerstörung der Mergelauswürflinge zurückzuführen,die einen hohen Prozentsatz des Gesteins ausmachen und nicht mehr in ihrer ursprünglichen Korngröße vorliegen.Da die Mergelbrocken aber nicht in ihre Primärteilchen zerfallen,stößt eine genetische Deutung auf sehr große Schwierigkeiten.Dagegen ist eine Zerstörung der Minerale und Grundgebirgsauswürflinge ausgeschlossen;dies wurde in Parallelversuchen nachgeprüft.Mikroskopische Untersuchungen ergaben,daß die Aufbereitung nahezu vollkommen ist.
Die Werte für die Mineralkomponenten,die später angegeben werden,entsprechen genau der ursprünglichen Korngrößenverteilung,dagegen sind diejenigen für die Fremdgesteinsauswürflinge unsicher.Daß aber die prozentuale Korngrößenverteilung in einem weiten Bereich eines Tuffs durchaus gleich sein kann,zeigt eine Arbeit von K.H.Papenfuß 1961.

3.5.Übersicht über die Bestandteile des Tuffs

Bevor die einzelnen Komponenten des Tuffs besprochen werden sollen,wird ein Überblick gegeben:
Die Bestandteile werden in zwei Hauptgruppen geteilt,in die magmatogenen und magmenfremden Komponenten.

MAGMATOGENE KOMPONENTEN
- Einzelminerale
- Bindemittel
- Auswürflinge
  - Lapilli
  - Bomben
  - Tuffauswürflinge
  - Tuffitauswürflinge
- Gänge

MAGMENFREMDE KOMPONENTEN
- Einzelminerale
- Auswürflinge
  - Magmatische Gesteine
    - Tiefengesteine
    - Ergußgesteine
  - Metamorphe Gesteine
  - Sedimentgesteine
  - Fluviatile Gerölle

Außerdem wurde ein Stück Holz gefunden.
In der aufgeführten Reihenfolge werden die Bestandteile besprochen. Die folgende Tabelle zeigt die Korngrößenverteilung der Bestandteile.

Korngröße	magmenfremde Auswürfl.	magmenfremde E.-Minerale	magmatogene Auswürfl.	magmatog. Einzel-Minerale	Bindemittel
6,0 mm	75	-	23	2	-
6,0 -2,0	65(82)	-	21(1)	14(16)	-(1)
2,0 -1,2	60(50)	6	16(6)	18(31)	-(13)
1,2 -0,6	50(27)	22	13(17)	15(26)	-(31)
0,6 -0,43	40(21)	25	16(22)	16(25)	3(32)
0,43 -0,2	30(8)	30	16(31)	19(27)	5(34)
0,2 -0,06	20(4)	25	12(39)	26(20)	17(37)
0,06 -0,04	10(2)	20	10(45)	26(9)	34(45)
0,04 -0,02	4	15	3	23(3)	55(97)
0,02 -0,006	-	12	-	18(~2)	70(98)
0,006-0,002	-	5	-	10(~1)	85(99)
0,002 mm	-	3	-	7(~1)	90(99)

Tab.3 Korngrößenverteilung der Bestandteile des Tuffs in Gew.-% (in Klammern Werte des Schlotkonglomerates vom Bürzlen nach K.H.Papenfuß 1961)

Die quantitative Entwicklung der Bestandteile in den Korngrößen ist bei dem Tuff vom Heilsberg ähnlich wie bei dem

Schlotkonglomerat vom Bürzlen.Eine Ausnahme bilden die magmatogenen Auswürflinge,die im Tuff des Heilsberges zu den kleineren Korngrößen hin abnehmen,umgekehrt im Schlotkonglomerat des Bürzlen.
Aus den Ergebnissen der Korngrößenanalyse errechnet sich folgende Zusammensetzung des Tuffes:

Magmatogene Einzelminerale	17,5 Gew.-%
Bindemittel (magmatogen)	10,6
Magmatogene Auswürflinge	13,4
Magmenfremde Einzelminerale	20,9
Magmenfremde Auswürflinge	37,6

Das Verhältnis der magmatogenen Komponenten zu den magmenfremden Komponenten ist 41,5:58,5 (Bürzlen 49:51).
Da bei den zur Korngrößenanalyse verwandten Proben große Einschlüsse gemieden wurden,ist die angegebene Zusammensetzung zugunsten der kleineren Komponenten (Minerale und Bindemittel) verschoben.Der wahre Gehalt an Fremdgesteinsauswürflingen liegt zwischen 40 und 50%.

3.6.Magmatogene Komponenten

3.6.1.Einzelminerale

3.6.1.1.Pyroxen (Salit)

6,5% des Tuffes sind Salit.Er ist das häufigste magmatogene Mineral.Es sind kurzprismatische Formen mit (100), (010),(111) und (110),wobei die Größe der ausgebildeten Flächen unterschiedlich ist.Man kann makroskopisch aus dem Tuff leicht idiomorphe Kristalle herauslösen,sie sehen schwarz aus.Im Dünnschliff erscheinen sie hellgrün.Zwillinge nach (100) sind häufig,öfters auch mit zahlreichen Zwillingslamellen.Seltener sind Durchwachsungszwillinge nach (101) und ($\bar{1}$22).Zonarbau tritt häufig auf,"Sanduhrformen" selten.Die größten Kristalle haben eine Länge von etwa 1 cm parallel zur c-Achse.Als Gäste findet man im Salit:Magnetit,

Apatit und niedrig lichtbrechende,isotrope,farblose Ein= schlüsse.Häufig sind die Pyroxene durch Verwitterung an= gegriffen,daher tritt zuweilen fleckige Auslöschung auf. Sie sind zum Teil uralitisiert.

Optische Daten:

n_x=1,690; n_y=1,696; n_z=1,721; $2V_z$=58-60°;Z∧c=43-45°.

Dieser Pyroxen entspricht in seinen optischen Daten einem von E.Tröger 1951 beschriebenen Fassait.

Dichte: 3,36-3,40 g/cm^3

Sie zeigen nur einen schwachen Pleochroismus (X=gelbgrün, Y=hellgrün,Z=olivgrün).

Die chemische Analyse ergab folgende Werte:

SiO_2	49,50%
TiO_2	1,21
Al_2O_3	5,61
Fe_2O_3	1,52
FeO	6,47
MgO	12,20
CaO	22,21
Na_2O	0,88
K_2O	0,10
H_2O^+	0,21
H_2O^-	0,00
	99,91%

Daraus errechnet sich die Formel:

$$(Ca_{0,89}\ Na_{0,06}\ K_{0,01})\ (Mg_{0,68}\ Fe''_{0,20}\ Al_{0,10}\ Fe'''_{0,04}\ Ti''''_{0,03})\ (Si_{1,85}\ Al_{0,14})\ O_6$$

Das Verhältnis der Atomprozente:Fe'':Mg :Ca = 12 :38 :50

Die Röntgendaten sind:

d [Å]	I/I_1	hkl	d [Å]	I/I_1	hkl
4,392	11	020	2,499	29	$\bar{1}31/002$
3,312	9	021	2,296	10	400
3,183	100	220	2,139	15	330
2,976	91	$\bar{2}21$	2,120	25	$\bar{3}31$
2,928	60	310	2,096	31	$\bar{4}21$
2,882	21	$\bar{3}11$	2,030	17	041
2,547	27	$\bar{2}02$	2,004	12	$\bar{4}02$
2,519	18	$\bar{1}12/221$	1,963	4	$\bar{2}41$

3.6.1.2.Amphibol (eisenhaltiger Edenit)

Der Amphibol,der 2,2% des Tuffs bildet,erscheint recht auffällig durch seine stark glänzenden,tiefschwarzen, ausgezeichneten Spaltflächen (110).Idiomorphe Kristalle findet man wegen der guten Spaltbarkeit nicht.Es kommen Kristalle bis zu 2 cm Kantenlänge vor.Selten sind ori= entiert eingelagerte Rutilnadeln zu finden.Zwillings= bildungen nach (100) sind seltener als beim Pyroxen. Der Amphibol enthält als Gastminerale Magnetit,Apatit und Augit sowie niedrig lichtbrechende,isotrope,farblose Einschlüsse.

Optische Daten:
n_x=1,653; n_y=1,670; n_z=1,675; $2V_x$=76-78°; $Z \wedge c$=21-24°.

Dichte:3,18-3,20 g/cm^3

Er zeigt einen starken Pleochroismus (X=gelbbraun,Y=grün= braun,Z=braun).

Die chemische Analyse ergab folgende Werte:

SiO_2	41,81%
TiO_2	1,30
Al_2O_3	12,70
Fe_2O_3	12,05
FeO	1,44
MgO	12,81
CaO	13,52
Na_2O	1,80
K_2O	1,82
H_2O^+	1,02
H_2O^-	0,12
	100,39%

Daraus errechnet sich die Formel:

$$(Na_{0,52}\ K_{0,35}\ Ca_{2,15}\ Mg_{2,84}\ Fe''_{0,18}\ Fe'''_{1,35}\ Al_{0,49}\ Ti''''_{0,14})\ \left[(0,OH)_2 \mid Al_{1,74}\ Si_{6,23}\ O_{22}\right]$$

Das Verhältnis der Atomprozente: Fe'' : Mg : Ca = 4 : 55 : 41

Die Röntgendaten sind:

d [Å]	I/I_1	hkl	d [Å]	I/I_1	hkl
8,418	100	110	2,384	5	350/400
4,502	3	111	2,342	8	$\bar{3}51$
3,360	7	131	2,296	3	112/$\bar{1}$71
3,276	18	240	2,215	2	-
3,129	55	310	2,159	6	$\bar{3}32$/132
2,928	9	$\bar{1}$51/221	2,044	5	261/202
2,803	29	330	2,001	5	222
2,744	5	$\bar{3}31$	1,901	5	-
2,696	8	151	1,823	3	-
2,590	5	061	1,691	2	$\bar{1}$53/028
2,555	8	002	1,652	6	480

Er ist nach Winchell 1945 ein Glied der Edenit-Ferroedenit-Reihe. Er wird als eisenhaltiger Edenit bezeichnet.

3.6.1.3.Biotit (Meroxen)

Biotit tritt in großen,bis zu 3 cm breiten und sehr selten einigen mm dicken Tafeln auf; er bildet 2,3% des Tuffs. Herrschende Formen sind (001),(110) und (010).Im frischen Zustand ist er dunkelbraun,jedoch findet man ihn häufig zersetzt.Dabei schieben sich weiße Calcitblättchen paral= lel zu den Spaltflächen ein.Andererseits bleicht er häufig zu grünen Farben aus,wobei seine Brechungsindizes sinken. Dies erklärt die große Variationsbreite der Indizes.Selten sind orientierte Einwachsungen von Rutilnadeln zu beobach= ten.Häufig sind Magnetit,Pyroxen und Amphibol eingeschlos= sen.

Aus den bisher gegebenen Mineralbeschreibungen ergibt sich die Ausscheidungsfolge der femischen Silikate:Salit,eisen= haltiger Edenit und Meroxen.

Optische Daten:

$$\frac{n_y+n_z}{2} = 1{,}618 - 1{,}631 \qquad 2V_x = 10\text{-}14^o$$

Dichte: 2,93 g/cm^3 und leichter.

Er zeigt deutlichen Pleochroismus (X=gelb, Y,Z=braun).

Die chemische Analyse ergab folgende Werte:

SiO_2	36,21%
TiO_2	3,80
Al_2O_3	16,17
FeO	8,95
MgO	18,67
CaO	1,95
Na_2O	1,78
K_2O	7,87
H_2O^+	3,14
H_2O^-	1,11
	99,65%

Bei der Berechnung der chemischen Formel wurde das CaO

nicht berücksichtigt,da es sich dabei um sekundär einge=schobene Calcitblättchen handelt.
Es wurde folgende chemische Formel errechnet:

$$(K_{0,77}\ Na_{0,27})\ (Mg_{2,12}\ Fe''_{0,57}\ Ti''''_{0,22}\ Al_{0,22})\ \left[(OH,O,F)_2 \mid Al_{1,24}\ Si_{2,76}\ O_{10}\right]$$

Das Verhältnis der Atomprozente:Fe'':Mg = 21 :79
Die Röntgendaten sind:

d[Å]	I/I_1	hkl
9,980	100	001
4,553	4	110
3,346	41	003
3,141	5	112
2,913	3	11$\bar{3}$
2,613	19	20$\bar{1}$/130
2,512	6	004/113
2,428	8	201

Der Biotit konnte durch eine Röntgen-Pulveraufnahme als 1 M-Typ bestimmt werden.Die Interferenzen der Aufnahme des Meroxens vom Heilsberg zeigen eine gute Übereinstim=mung mit einer von Smith und Yoder 1956 als Beispiel für einen trioktaedrischen 1 M-Typ (Phlogopit) gegebenen Aufnahme.Eine Übereinstimmung mit anderen Strukturtypen ist nicht zu erkennen.Der optische Achsenwinkel von 10-14° zeigt ebenfalls die monokline Struktur des Meroxens.

3.6.1.4.Magnetit

Magnetit ist ein sehr wesentlicher Bestandteil,er macht 2,3% des Tuffs aus."Ohne anhängende Lapillimasse,frei im Tuff liegend,wurde am Heilsberg ein 300 g schwerer, unregelmäßig geformter Magnetitknollen gesammelt" (J.Erb 1900).Er ist selten idiomorph,meist körnig ausgebildet. Durch seine Widerstandsfähigkeit erhielt er sich im all=

gemeinen frisch.Unter dem Erzmikroskop erscheint er auch bei starker Vergrößerung (300fach) homogen.Auch an dieser Stelle sei Herrn Dr.Cevales für die Anleitung zur erzmikroskopischen Untersuchung herzlich gedankt.In der röntgenographischen Pulveraufnahme wurde Ilmenit festgestellt.Für die optische und röntgenographische Untersuchung wurde jeweils ein Teil eines 5g schweren Magnetitkornes verwandt.Nach Ramdohr 1939 kann die Entmischung an der Grenze der mikroskopischen Erkennbarkeit liegen.Als Entmischungstemperatur gibt er 1960 700-400° an,die abhängig von Mineralisatoren,Zusammensetzung, Abkühlungsgeschwindigkeit und Korngröße ist.Bei etwa gleichem TiO_2-Gehalt zeigte ein Magnetit der Skaergaard-Intrusion/Grönland ebenfalls Entmischungen (Vincent u.a.1956). Man wird diese submikroskopische Entmischung als ein Anfangsstadium der Entmischung bezeichnen können.
Errechnet man die Werte für das Konzentrationsdreieck MO, TO_2,R_2O_3 (Vincent u.a.1956),so liegt der Magnetit des Heilsberges (MO 35,TO_2 10,R_2O_3 55) rechts von der Mischungslinie Ilmenit-Magnetit,bedingt durch den relativ hohen R_2O_3-Gehalt.
Entmischungen anderer Minerale sind nicht festzustellen.
Bei der erzmikroskopischen Untersuchung fanden sich in Rissen kleine Pyritkristalle.

Die chemische Analyse ergab folgende Werte:

SiO_2	0,67%
TiO_2	8,24
Al_2O_3	3,60
Fe_2O_3	56,80
FeO	27,61
MgO	3,07
CaO	0,00
H_2O^-	0,21
	100,20%

Daraus wurde folgende chemische Formel errechnet:
$(Fe''_{0,83}\ Mg_{0,17})\ (Fe'''_{1,55}\ Ti_{0,23}\ Al_{0,16})\ O_4$
Nach Strunz 1957 kann Magnetit einen Sauerstoffüberschuß haben,der durch Leerstellen im Metallatomgitter bedingt ist. Die Röntgendaten sind:

	d[Å]	I/I_1	hkl
Magnetit:	4,850	9	111
	2,976	40	220
	2,528	100	311
	2,101	29	400
	1,668	7	422
	1,617	33	333/511
	1,491	25	440
	1,279	5	533
Ilmenit:	2,735	7	104/102
	1,720	9	116
	1,509	8	214

3.6.1.5.Apatit

Apatit kommt in hexagonalen Prismen bis zu einer Kantenlänge von 0,8 cm vor,oft auch körnig.Er sieht gelblichweiß aus.Durch seine Widerstandsfähigkeit gegen Atmosphärilien ist er sehr gut erhalten.Er hat eine sehr niedrige Doppelbrechung.

Seine optischen Daten: n_o=1,642; n_ε=1,645

Aus seiner Lichtbrechung und seiner Dichte (3,182 g/cm^3) ergibt sich nach Winchell 1951:Fluorapatit mit etwa 20% Chlorapatit.Häufig enthält er niedrig lichtbrechende, farblose,isotrope Einschlüsse,jedoch ist er nie Wirt von Mineralen,dies deutet auf seine frühe Ausscheidung.Unter dem Mikroskop erscheint er farblos,zuweilen schwach zweiachsig.

3.6.1.6.Analcim

Analcim ist vermutlich durch Umwandlung aus Nephelin und Leucit entstanden.Er ist relativ häufig,meist wasserklar, zeigt keine Kristallform,sondern kommt stets körnig vor. Eine Spaltbarkeit (nach (100)?) ist erkennbar.Er wurde optisch und röntgenographisch bestimmt.Seine Lichtbrechung liegt bei 1,488.Häufig beobachtet man zwischen gekreuzten Nicols mattgrau doppelbrechende Flächen.

3.6.1.7.Sanidin

Der Sanidin konnte nur optisch bestimmt werden,da er sehr selten ist.Sein mengenmäßiger Anteil ist nicht genau fest= zustellen,da er von magmenfremden Feldspäten nicht immer zu unterscheiden ist.Zur Bestimmung wurden aus mit Natri= umkobalt III-Nitrit angefärbten Alkalifeldspäten etwa 2 mm lange idiomorphe Sanidintafeln ausgelesen und orien= tierte Schliffe angefertigt.

Optische Daten:

$Y \parallel b$; $Z \wedge c$ 13-16°; $X \wedge a$ 7-8°

n_x=1,522; n_y=1,527; n_z=1,528

Der Achsenwinkel schwankt um 0°.

Dichte: 2,58 g/cm^3

Diese Meßwerte ergeben nach Tuttle 1952 einen Hochsanidin mit einem Verhältnis von $Or:Ab_{(Ab93\ An07)}$=(55-60):(45-40).

3.6.1.8.Perowskit

Perowskit kommt nur selten und in sehr kleinen,splittrigen Individuen vor.Seine Lichtbrechung liegt deutlich über 2,00.Er ist meist isotrop,zeigt aber bisweilen schwache Doppelbrechung.Seine Farbe ist rotbraun,zuweilen auch farb= los.Spaltbarkeit ist nicht vorhanden.

3.6.1.9.Weitere Pyroxene

Außerdem bei weitem überwiegenden Salit kommen ganz extrem selten noch Enstatit,Pigeonit und Ägirinaugit vor.

Enstatit

Enstatit sieht makroskopisch dunkelgrün aus,im Dünn=schliff erscheint er hellgrün und zeigt Entmischungs=lamellen parallel zur Achsenebene (100).

Optische Daten:

n_x=1,666; n_z=1,679; $2V_z$=80°; Z∧c=0-2°

Dichte: 3,32 g/cm^3

Daraus ergibt sich nach H.H.Hess 1952 ein Verhältnis von Mg:Fe=90:10.Er liegt an der Grenze vom Enstatit zum Bronzit.

Pigeonit

Pigeonit wurde nur einmal im Dünnschliff beobachtet. Er zeigt einen Achsenwinkel von etwa 0° und einen schwachen Pleochroismus von farblos nach gelblich. Seine Doppelbrechung ist niedrig.Spaltbarkeit ist vor=handen.

Ägirinaugit

Ägirinaugit wurde nur einmal in einem Lapilli gefunden, welches wiederum in einem größeren Lapilli eingeschlos=sen war.Das kurzsäulige Individuum war randlich zer=setzt.Seine Spaltbarkeit erschien deutlicher als bei den anderen Pyroxenen.Sein Auslöschungswinkel X∧c lag bei 5°.

3.6.1.10.Melilith

Melilith konnte nicht sicher nachgewiesen werden.Es wurden wenige Individuen beobachtet,die dünne,farblose Leistchen bilden und optisch einachsig sind.Ihre Lichtbrechung liegt deutlich über der des Kanadabalsams.Es wurde nie Pflock=struktur oder seine anomale blaue Interferenzfarbe beob=achtet.

3.6.1.11.Granat

Granat ist selten.Er sieht unter dem Binokular rosa,unter dem Mikroskop farblos aus.Seine Lichtbrechung liegt bei 1,77.Er ist isotrop und zeigt keine Spaltbarkeit.Seine Ausbildung ist körnig.Es ist ein Pyrop.

3.6.1.12.Zeolithe

Der Gehalt an Zeolithen ist recht unterschiedlich,selten jedoch erheblich.Als Bindemittel spielt er keine oder nur eine sehr unbedeutende Rolle.Der Tuff enthält zwei Vertreter der Zeolithgruppe.

Laumontit
Er wurde an seiner anomalen blauen Interferenzfarbe erkannt.Er tritt meist stengelig in Drusen und Rissen auf.Charakteristisch ist auch seine niedrige Licht- und Doppelbrechung (n um 1,512).Er ist optisch zweiachsig und hat einen negativen optischen Charakter.

Phillipsit oder Chabasit
Seltener ist ein anderer farbloser Zeolith,der kurzsäulig bis würfelig ausgebildet ist.Nach dem Chemismus des Salzsäureauszuges (nach Berücksichtigung der Karbonate und des Laumontits) und den mikroskopischen Beobachtungen handelt es sich um Phillipsit oder Chabasit.

3.6.1.13.Gips

Gips erscheint ganz selten.Er ist wasserklar und bis zu etwa 1 cm lang.Er ist in einem späten Stadium durch hydrothermale Lösungen entstanden.Dabei wurde der Schwefel durch Zersetzung des Pyrits frei und reagierte mit Calcit unter Bildung von Gips.

3.6.1.14. Gehalt magmatogener Einzelminerale in den Korngrößenfraktionen

Der Gehalt der magmatogenen Hauptgemengteile des Tuffs wurde in allen Korngrößenfraktionen bestimmt.

Korngröße mm	Pyroxen	Amphibol	Biotit	Magnetit
6,0 -2,0	10 (12)	2 (3)	1 (0,8)	0,5(0,3)
2,0 -1,2	12,5(27)	2 (2)	2 (0,7)	0,5(0,7)
1,2 -0,6	7,5(21)	2 (3)	2 (0,5)	0,5(0,8)
0,6 -0,43	7 (20)	2,5(3)	2,5(0,3)	1 (1)
0,43 -0,2	7 (23)	3 (3)	2,5(0,3)	1,5(1)
0,2 -0,12	4 (17)	3,5(2)	3 (0,4)	3 (1)
0,12 -0,06	3 (13)	3 (1)	5 (2,0)	7 (2)
0,06 -0,04	2,5(3)	2 (0,5)	3 (1,0)	12 (4)
0,04 -0,02	2	1	2,5	13 (3^+)
0,02 -0,006	~1,5	~1	2,5	10 (2^+)
0,006-0,002	~1	-	~2	~5 ($<1^+$)
0,002	~1	-	~2	~2 ($<1^+$)

Tab.4 Gehalt magmatogener Einzelminerale in den Korngrößenfraktionen in Gew.-%. In Klammern Werte des Schlotkonglomerates vom Bürzlen nach Papenfuß 1961. $^+$=Summe von Pyroxen, Amphibol, Biotit, Magnetit.

Die quantitative Entwicklung in den verschiedenen Korngrößen der in Tab.4 erwähnten Minerale ist in dem Tuff des Heilsberges sehr ähnlich wie in dem Schlotkonglomerat vom Bürzlen.

Für weitere magmatogene Minerale wird die Korngröße angegeben, in der sie am stärksten vertreten sind:

Apatit 0,12-0,06 mm 5%
Analcim 0,04-0,06 mm 4%

Alle anderen magmatogenen Einzelminerale liegen in allen Fraktionen unter 2%.

3.6.2.Bindemittel

Das Bindemittel besteht aus Calcit und Montmorillonit; Zeolithe,Dolomit und Opal spielen eine ganz untergeordnete Rolle.Es muß zu den magmatogenen Bildungen gezählt werden,da die Verfestigung des Tuffs bereits beim Ausklingen der vulkanischen Phase begann.
Den Gehalt an diesen beiden wesentlichen Komponenten in den feinsten Fraktionen zeigt folgende Übersicht (in Klammern Werte des Schlotkonglomerates vom Bürzlen nach Papenfuß 1961):

Korngröße [µ]	Montmorillonit %	Calcit %
0-2	70 (75-80)	20 (20)
2-6	50 (70-75)	35 (26)
6-20	40 (65)	30 (31)
20-40	35 (55)	20 (41)
40-60	10	25

Der Calcitgehalt wurde mit dem "Scheibler" bestimmt,der Montmorillonitgehalt aus Röntgen-Pulveraufnahmen geschätzt.Verschiedene Bildungsphasen konnten nicht beobachtet werden,jedoch ist zu vermuten,daß der Montmorillonit hydrothermal aus vulkanischem Glas entstanden ist.

Die Karbonatgehalte aller Korngrößenfraktionen sind in Abb.4 dargestellt.Die Kurve zeigt ein Minimum in der Korngröße 20-40µDer höhere Karbonatgehalt in den feineren Korngrößen stammt vom Bindemittel,in den gröberen Fraktionen von karbonatischen,magmenfremden Auswürflingen.

Die Abnahme des Karbonatgehaltes über 1,2 mm kann durch die relativ geringe Probemenge bedingt sein,die keinen statistischen Querschnitt mehr liefert.

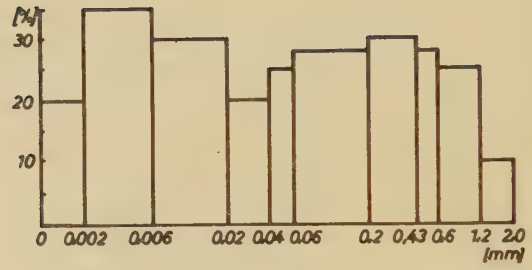

Abb.4 Karbonatgehalte in den Korngrößen

3.6.3.Auswürflinge

Der Begriff "Auswürflinge" wird in dieser Arbeit für magmatogene Mineralaggregate,die vor ihrer Einbettung in den Tuff erstarrten und für magmenfremde Gesteinsbrocken im Tuff verwandt.
Zunächst werden die magmatogenen Auswürflinge beschrieben.

3.6.3.1.Lapilli

Als Lapilli werden grau-grün aussehende,meist kugelige Aggregate bezeichnet,die eine holokristalline bis hypokristalline,porphyrische Struktur haben und von einer dunkleren,härteren Kruste umhüllt sind.Sie haben fast immer einen Durchmesser von unter 2 cm.Zu den Lapilli werden auch sehr selten vorkommende größere Aggregate, die in ihrem Aussehen und Bestand diesen gleichen,gezählt.Der Übergang zu den Korngrößen der Asche ist kontinuierlich.Es treten in den feinen Korngrößen Bruchstükke größerer Lapilli und kleine,ganze Aggregate auf.Da sie in ihrem Aussehen und Bestand den Lapilli gleichen,werden sie mit ihnen zusammengefaßt.Auch treten kleinere Lapilli in größeren eingeschlossen auf.

Die Lapilli sind wohl als Zeugen des den Tuff bildenden Magmas anzusehen.
Fast immer bildet ein großer Kern das Zentrum der Lapilli. Dieser Kern besteht meist aus intratellurisch gebildeten, magmatogenen Mineralen (besonders Pyroxen und Amphibol), seltener bilden magmenfremde Komponenten (Grundgebirgs= bröckchen und Feldspäte überwiegen dabei) dieses Zentrum. Das Verhältnis der Größe des Kerns zum Gesamtvolumen der Lapilli ist sehr unterschiedlich.Es gibt Lapilli,in denen der Kern völlig fehlt,dagegen auch solche,in denen er et= wa 95% des Gesamtvolumens bildet.Häufig ist das Verhältnis etwa 1:100.
Rings um den Kern sind in der feinkörnigen Grundmasse grö= ßere,magmatogene Minerale eingebettet.Es herrschen Magne= tit,Pyroxen und Amphibol vor.Häufig haben die Lapilli eine Fluidal-Textur,die man besonders gut am Biotit erkennt, der meist parallel zur Oberfläche der Lapilli eingelagert ist.Die Grundmasse besteht aus Montmorillonit,der aus vul= kanischem Glas entstanden ist,und Calcit.
Sie haben häufig einen Durchmesser von etwa 1 cm,selten kommen solche mit einem Durchmesser von bis zu 4 cm vor. Nicht alle sind ganz erhalten,einige scheinen beim Auf= schlag zersprungen zu sein.Ein Hinweis darauf,daß sie tatsächlich mechanisch beansprucht sind,ist eine zuweilen vorkommende Verformung der Biotitblättchen.
Abbildungen vulkanischer Auswürflinge gleichen Aussehens gibt Rust 1937.
Da das Material der Lapilli im Tuff des Heilsberges so= wohl hinsichtlich der Zahl als auch der Erhaltung äußerst mangelhaft ist,kann im folgenden nur ein Versuch der Deu= tung der Lapilligenese gegeben werden.- Zunächst schieden sich in der Tiefe Kristalle aus der Schmelze aus,diese wurden bei der Explosion aus der Schmelze ausgeschleudert. Der Art des Magmas entsprechend bildete sich um den

Kristall herum ein Schmelztropfen,der je nach der Größe des Tropfens durch die Oberflächenspannung eine mehr oder minder kugelige Form erhielt.Die beobachteten Lapilli zeigen in den kleinen Korngrößen eine bessere Annäherung an eine Kugel als in den größeren Korngrößen.Während des ständigen Herumwirbelns im Schlot beziehungsweise im Explosionskrater zur Zeit der Explosionen stieg allmählich die Viskosität des den Kristall umhüllenden Magmas.Durch diese Rotation erfolgte eine Regelung in den bereits plastischen Lapilli parallel zur Außenhaut.Ebenfalls können durch dieses Herumwirbeln im Schlot beziehungsweise im Explosionskrater die Lapilli durch mechanische Beanspruchung weiter abgerundet worden sein.Danach wurden sie aus dem Vulkanbau ausgeworfen oder in die Schlotfüllung eingebettet.

Häufig kann man an größeren Einzelmineralen Umwandlungs- und Korrosionserscheinungen feststellen.Es handelt sich dabei vorwiegend um intratellurisch gebildete Minerale, die bei den PT- und chemischen Bedingungen zur Zeit des Auswurfes nicht mehr stabil waren.Zum Beispiel wurde ein eisenreicher Pyroxen zum Teil randlich uralitisiert; es entstanden Hornblende und Erz (Limonit?).Auch die später einsetzende Wirkung der Atmosphärilien führte eine Zersetzung herbei.Der Pyroxen wurde häufig von außen gebleicht,was jetzt leicht einen Zonarbau vortäuscht.Außerdem ist in einigen Fällen echte Zonarstruktur zu beobachten.Unterschiedliche Auslaugung ist wohl die Ursache der zuweilen auftretenden fleckigen Auslöschung.Auch der Biotit ist häufig gebleicht.Der Magnetit ist selten zu Limonit umgewandelt.Neu gebildet wurde Analcim,vermutlich aus Nephelin und Leucit.Diese Erscheinungen sind auch bei den frei im Tuff liegenden Mineralen zu beobachten.Die Eigenschaften der Minerale in den Lapilli und der frei im Tuff vorkommenden Minerale sind die gleichen.

Aus der Integration von vier Lapillidünnschliffen ergab sich folgende Mineralverteilung:

					Mittelwerte (Vol.-%)
Analcim	4	2	2	3	3
Magnetit	12	14	15	12	13
Pyroxen	7	5	18	7	9
Amphibol	2	6	2	3	4
Apatit	2	1	2	5	2
Biotit	3	3	4	3	3
Grundmasse u.Akzessorien	70	69	57	67	66

Durch magnetische Trennung konnte der Lapilligehalt in den einzelnen Korngrößen bestimmt werden.

Korngröße	Gew.-%
6,0 -2,0 mm	21
2,0 -1,2	16
1,2 -0,6	13
0,6 -0,43	16
0,43-0,20	16
0,20-0,12	13
0,12-0,06	11
0,06-0,04	10

Tab.5 Lapilligehalte in den Korngrößenfraktionen

Trotz der Umwandlungserscheinungen sind die Lapilli als die besten Repräsentanten des den Tuff speisenden Magmas anzusehen.Es wurden deshalb drei Analysen aus jeweils einem Gemisch mehrerer gleichgroßer Lapilli angefertigt (Tab.6).

	<1 cmØ	1-4 cmØ	>4 cmØ
SiO_2	35,00%	35,19%	35,56%
TiO_2	4,07	3,21	2,93
Al_2O_3	10,72	10,67	10,98
Fe_2O_3+FeO	16,88	15,99	16,26
MgO	10,55	9,71	8,27
CaO	10,75	13,66	11,80
Na_2O	2,58	2,45	0,84
K_2O	1,05	0,81	1,50
P_2O_5	1,78	1,84	2,11
H_2O^+	3,76	5,22	7,23
H_2O^-	3,13	2,00	3,05
	100,27%	100,75%	100,98%

Tab.6 Chemische Analysen von Lapilli verschiedener Korngrößen

	<1 cmØ	1-4 cmØ	>4 cmØ
Gewichts= verlust	15%	18%	25%
SiO_2	0,50	0,48	1,14
Al_2O_3	3,41	3,37	4,40
Fe_2O_3+FeO	1,37	1,33	Spuren
MgO	0,69	0,73	Spuren
CaO	4,35	6,22	9,91
$CaCO_3$	2,3	4,1	8,9

Tab.7 Analysen der in fünfprozentiger Salzsäure löslichen Bestandteile der Lapilli verschiedener Korngrößen. $CaCO_3$ wurde in diesem Falle mit dem "Scheibler" bestimmt. Die angegebenen Werte sind Mittelwerte aus drei Messungen.

Die chemischen Ergebnisse werden später diskutiert.

3.6.3.2.Bomben

Bomben werden mittel- bis grobkristalline,gleichkörnige, gering miarolithische,dunkle und helle magmatogene Aggregate genannt,die stets einen Durchmesser von über 2 cm haben.Ihre Formen sind gerundet.Sie sind bereits intratellurisch auskristallisiert.

3.6.3.2.1.Dunkle Bomben

Die dunklen Bomben bestehen vorwiegend aus Pyroxen,Amphibol,Biotit,Magnetit und Apatit,neben denen auch noch Calcit,Perowskit,Zeolith,Montmorillonit,Analcim und Titanit? vorkommen.Davon sind Calcit,Zeolith,Montmorillonit und Analcim neu gebildet.Die dunklen Bomben enthalten kein Glas.Die Größte wog 4 kg und war äußerlich von gelbem Nontronit überzogen.Insgesamt wurden sechs dunkle Bomben gefunden,alle sind leicht angewittert,die biotitreichen stärker.Sie haben durch ihren reichen Bestand an femischen Mineralen eine hohe Dichte.Diese dunklen Bomben zeigen einen sich ändernden Mineralbestand und eine sich ändernde Mineralzusammensetzung,die natürlich eine Verschiebung des Chemismus bedingen.Die Minerale wurden mikroskopisch bestimmt und von jeder Bombe wurden Dünnschliffe integriert.Es ergaben sich folgende Werte:

Bombe 1	Gewicht 130 g
Pyroxen	20 Vol.-% (n_z=1,723;$2V_z$=58°)
Amphibol	5
Biotit	46 $\frac{n_y+n_z}{2}$ =1,66
Apatit	7
Magnetit	1?
Calcit und Akzessorien	21

Bombe 2	Gewicht 100 g	
Pyroxen	6 Vol.-%	
Amphibol	29	(n_z=1,675)
Biotit	34	($\frac{n_y+n_z}{2}$ =1,66)
Apatit	3	
Magnetit	2	
Calcit und Akzessorien	26	
Bombe 3	Gewicht 1000 g	
Pyroxen	60 Vol.-%	(n_z=1,725;$2V_z$=59°)
Amphibol	27	(n_z=1,682;$2V_x$=74°)
Biotit	3	($\frac{n_y+n_z}{2}$ =1,67)
Apatit	3	
Magnetit	5	
Calcit und Akzessorien	2	
Bombe 4	Gewicht 150 g	
Pyroxen	57 Vol.-%	(n_z=1,729;$2V_z$=58°)
Amphibol	33	(n_z=1,685;$2V_x$=73°)
Biotit	-	
Apatit	2	
Magnetit	6	
Calcit und Akzessorien	2	
Bombe 5	Gewicht 4000 g	
Pyroxen	65 Vol.-%	(n_z=1,733;$2V_z$=57°)
Amphibol	9	(n_z=1,690;$2V_x$=69-70°)
Biotit	-	
Apatit	7	
Magnetit	16	
Calcit und Akzessorien	3	

Bombe 6	Gewicht 80 g	
Pyroxen	70 Vol.-%	(n_z=1,736; $2V_z$=57°
Amphibol	-	n_y=1,713; Z c=45-47°
Biotit	-	n_x=1,708)
Apatit	8	
Magnetit	18	
Calcit und Akzessorien	4	

Von dem Pyroxen der Bombe 6 wurde eine chemische Analyse angefertigt:

SiO_2	48,00%
TiO_2	2,67
Al_2O_3	5,42
Fe_2O_3	2,70
FeO	14,61
MgO	7,60
CaO	17,61
Na_2O	1,56
K_2O	0,10
H_2O^+	0,22
H_2O^-	0,00
	100,49%

Daraus errechnet sich die Formel:

$$(Ca_{0,72}\ Na_{0,12}\ K_{0,01})\ (Mg_{0,44}\ Fe''_{0,47}\ Al_{0,07}\ Fe'''_{0,08}\ Ti''''_{0,08})\ (Si_{1,84}\ Al_{0,17})\ O_6$$

Das Verhältnis der Atomprozente: Fe'' : Mg : Ca = 29 : 27 : 44

Nach der chemischen und der optischen Bestimmung ist es ein Ferroaugit.

Die Röntgendaten des Pyroxens aus Bombe 6 sind:

d [Å]	I/I_1	hkl	d [Å]	I/I_1	hkl
3,217	63	220	2,301	16	400
2,985	100	$\bar{2}21$	2,144	27	330
2,928	85	310	2,125	32	$\bar{3}31$
2,882	31	$\bar{3}11$	2,101	18	$\bar{4}21$
2,554	31	$\bar{2}02$	2,030	16	041
2,533	32	$\bar{1}12/221$	2,004	13	$\bar{4}02$
2,510	52	$\bar{1}31/002$			

Alle femischen Silikate der dunklen Bomben sind also eisen= reicher als die des Tuffs.Die Optik des Apatits ändert sich in den Bomben nicht und entspricht der des Apatits im Tuff.

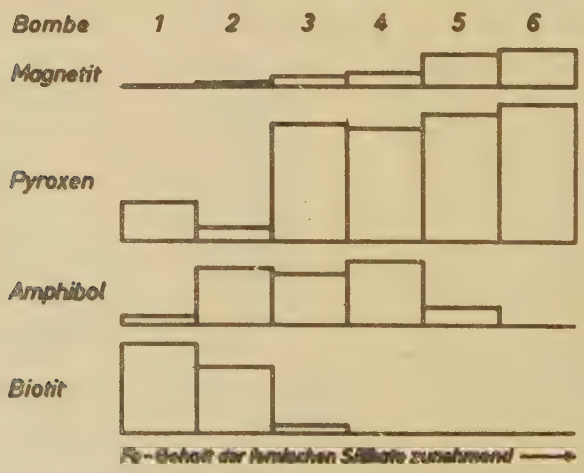

Abb.5 Verteilung der femischen Minerale in den dunklen Bomben

Die in Abb.5 dargestellten femischen Silikate werden mit steigendem Magnetitgehalt eisenreicher.In der gleichen Reihenfolge nehmen die hydroxylhaltigen Minerale ab.Da sich die hydroxylhaltigen Minerale bei höherem Druck bilden, kann man auf eine Druckentlastung zur Zeit der Entstehung der Bomben schließen.In der Reihe Bombe 1 bis Bombe 6 werden die Pyroxene eisenreicher,was auf eine Temperaturabnahme zur Zeit ihrer Bildung deutet.Mit der Anreicherung von Eisen läuft eine Anreicherung von Titan parallel,die optisch in den violetten Interferenzfarben der Augite zu beobachten ist,ebenfalls steigt der Natriumgehalt.
Bei der mikroskopischen Untersuchung wurde in Dünnschliffen festgestellt,daß der Biotit als Einschluß in der Hornblende und der Biotit sowie die Hornblende als Einschlüsse in dem Pyroxen auftreten.Die Ausscheidung der Bomben erfolgte also in der Reihenfolge 1-6 unter gleichzeitiger Druck- und Temperaturabnahme.
Die Pyroxene zeigen am deutlichsten den Gang der Differentiation.Während der Pyroxen der Bombe 1 im Salitfeld liegt, muß man den der Bombe 6 als Ferroaugit bezeichnen (Nomenklatur nach H.H.Hess).
Die Entwicklung der Klinopyroxene nimmt einen ähnlichen Verlauf wie sie von Murray 1954 und Wilkinson 1956 bei Alkali-Olivin-Basalten beobachtet wurde.Jedoch reicht sie bis zu höheren Eisenkonzentrationen.
Da nur von zwei untersuchten Pyroxenen chemische Analysen angefertigt wurden,die übrigen Pyroxene aber auch in das Konzentrationsdreieck Fe-Mg-Ca eingetragen werden sollten, wurden auf Grundlage des Diagramms von Muir 1952 die optischen Bestimmungen herangezogen.Dabei zeigte sich an den chemisch und optisch bestimmten Pyroxenen,daß die Achsenwinkel auf $\pm 3^{\circ}$ mit den von Muir gegebenen Kurven übereinstimmen,dagegen war die gemessene Lichtbrechung bis zu 0,004 höher.Dies ist auf die im Konzentrations-

dreieck unberücksichtigten Kationen Ti,Al,Fe''',Na zurück= zuführen.Die Gehalte an diesen Kationen sind in den hier untersuchten Pyroxenen hoch.Segnit 1953,der synthetische Diopside untersuchte,fand,daß durch den Einbau von Ti und Fe'''die Brechungsindizes und $2V_z$ zunehmen.Außerdem ist nach Hori 1954 auch die Koordination dieser Kationen im Gitter wesentlich.Werden Al,Ti und Fe'''in oktaedrischer Koordination eingebaut,so steigt die Lichtbrechung an während $2V_z$ sinkt.
Beim Eintragen der optisch bestimmten Pyroxene in das Konzentrationsdreieck wurde diese Diskrepanz zwischen Che= mismus und Lichtbrechung berücksichtigt.
Auffällig ist,daß die Zusammensetzung der Pyroxene stets nahe Wo 50 :(En + Fs) 50 bleibt,was nach H.H.Hess 1941 für Einsprenglingsaugite der Ergußgesteine charakteristisch ist.

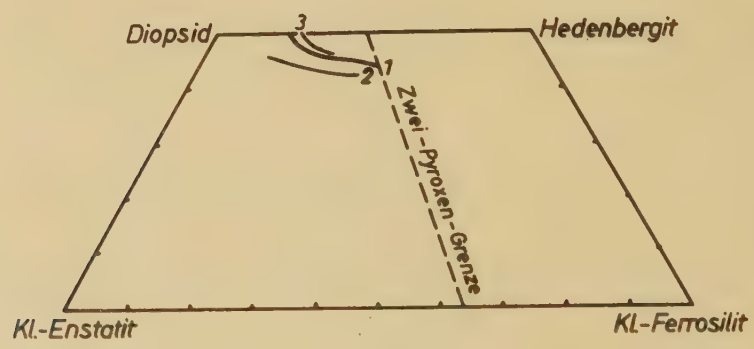

Abb.6 Entwicklung der Klinopyroxene im Heilsbergmagma (1) im Vergleich zu Klinopyroxenen in Alkali-Olivin-Basalten untersucht von Murray 1954 (2;Garbh Eilean sill,Shiant Isles) und Wilkinson 1956 (3;Black Jack sill,near Gunnedah,New South Wales).

	Biotit-Hornblende-Augit-Bombe (anal.Dittrich)	Hornblende-Augit-Bombe	Augit-Bombe
SiO_2	41,22%	43,08%	39,85%
TiO_2	3,18	3,27	3,88
Al_2O_3	7,17	6,20	5,48
Fe_2O_3	7,41	13,32	18,80
FeO	4,78		
MgO	12,35	13,69	7,00
CaO	13,85	15,41	18,48
Na_2O	2,83	1,75	1,81
K_2O	2,34	1,00	0,19
P_2O_5	0,66	0,92	2,76
H_2O^+	3,89	1,60	2,21
H_2O^-		0,20	0,16
	99,86%	100,44%	100,62%
$CaCO_3$-Bestimmungen mit dem "Scheibler":		3,3%	5,5%

Tab.8 Chemische Analysen von dunklen Bomben

Außer den beschriebenen Bomben wurde ein 41 g-schwerer Amphibol-Einkristall mit eingelagertem Apatit gefunden.
Optische Daten: n_z=1,694; $2V_x$=67°; $z\wedge c$=17-18°
Dichte: 3,29 g/cm³

Die chemische Analyse ergab folgende Werte:

SiO_2	40,10%
TiO_2	2,43
Al_2O_3	12,26
Fe_2O_3	13,58
FeO	2,16
MgO	12,40
CaO	11,65
Na_2O	2,89
K_2O	1,68
H_2O^+	1,40
H_2O^-	0,10
	100,65%

Daraus wurde folgende chemische Formel errechnet:

$$(Na_{0,83}\ K_{0,32}\ Ca_{1,86}\ Mg_{2,74}\ Fe''_{0,28}\ Fe'''_{1,52}\ Al_{0,21}\ Ti''''_{0,28})\ [(O,OH)_2 |\ Al_{1,95}\ Si_{5,97}\ O_{22}]$$

Das Verhältnis der Atomprozente: Fe'' : Mg : Ca = 6 : 57 : 37

Die Röntgendaten sind:

d [Å]	I/I_1	hkl	d [Å]	I/I_1	hkl
8,418	100	110	2,384	5	350/400
4,502	3	111	2,342	8	$\bar{3}51$
3,360	7	130	2,296	3	112/$\bar{1}71$
3,276	18	240	2,215	2	-
3,129	55	310	2,159	6	$\bar{3}32$/132
2,928	9	$\bar{1}51$/221	2,044	5	261/202
2,803	29	330	2,001	5	222
2,744	5	$\bar{3}31$	1,901	5	-
2,696	8	151	1,823	3	-
2,590	5	061	1,691	2	$\bar{1}53$/028
2,555	8	002	1,652	6	480

Es ist ein sehr eisenreicher Edenit (Nomenklatur nach Winchell 1945).

Die femischen Silikate der Bombe 3 konnten isoliert und chemisch untersucht werden.
Es ergaben sich für diese koexistierenden Minerale folgende Werte:

Pyroxen Fe_2O_3=10,19% MgO=12,81% CaO=21,44%
Das gesamte als Fe''' bestimmte Fe wurde zu Fe'' umgerechnet.
Das Verhältnis der Atomprozente: Fe'' : Mg : Ca = 16 : 38 : 46
Mg : Fe'' = 72 : 28 = 2,52; Ca : Fe'' = 75 : 25 = 3,00; Ca : Mg = 54 : 46 = 1,17

Amphibol Fe_2O_3=14,19% MgO=12,15% CaO=12,29%
Das Verhältnis der Atomprozente: Fe'' : Mg : Ca = 25 : 44 : 31
Mg : Fe'' = 63 : 37 = 1,70; Ca : Fe'' = 55 : 45 = 1,22; Ca : Mg = 42 : 58 = 0,72

Biotit Fe_2O_3=10,98% MgO=13,71% CaO=1,79%
Das Verhältnis der Atomprozente:Mg:Fe''=71:29=2,45
Der CaO-Gehalt im Biotit ist durch eingelagerte Calcit=blättchen bedingt.
Die Verhältnisse Ca:Mg und Ca:Fe''nehmen mit steigender Verknüpfung der SiO_4-Tetraeder ab,da der Einbau von Ca von den Ketten- über die Band- zu den Schichtsilikaten hier abnimmt.Dies ist in Abb.10 deutlich zu erkennen.

3.6.3.2.2.Helle Bombe

Ein heller,grobkristalliner,gleichkörniger Auswürfling, der makroskopisch einem Grundgebirgsauswürfling ähnlich sieht,enthält im Gegensatz zu diesem sehr frische Mine=rale.Sein Mineralbestand ist folgender: Plagioklas (An 7-12%) überwiegt,häufig treten (zuweilen anomal zweiachsig,auch mit Felderteilung) Nephelin,Augit und Biotit auf.Die dunklen Gemengteile haben die optischen Eigenschaften der entsprechenden Einzelminerale im Tuff. Außerdem enthält der Auswürfling Kalifeldspat,Ägirin=augit,Apatit,Calcit,Natrolith und Amphibol.Ein großer Teil des Calcites ist primär,er füllt Hohlräume und ist verzwillingt,sekundär tritt er in Form von Flitterchen auf.
Seine quantitative Mineralzusammensetzung wurde an zwei Dünnschliffen auf dem Integrationstisch ermittelt:

Albit	40 Vol.-%	Kalifeldspat	5
Nephelin	15	Calcit	5
Augit	15	Ägirinaugit	3
Biotit	12	Akzessorien	5

Nach seinem Mineralbestand ist das Gestein als Biotit-Augit-Nephelin-Syenit zu bezeichnen.

Eine chemische Analyse,ausgeführt von P.Hörmann im analy=tischen Labor des Institutes für Mineralogie und Petro=

graphie der Universität Tübingen,ergab folgende Werte:

SiO_2	56,06%
TiO_2	0,83%
Al_2O_3	16,56
Fe_2O_3+FeO	5,99
MgO	3,00
CaO	4,98
Na_2O	6,36
K_2O	4,32
P_2O_5	0,44
H_2O^+	1,46
H_2O^-	0,17
	100,19%

Vergleicht man die Analysenergebnisse mit denen von Phonolithen des Hegaus,so zeigt sich,daß dieses Gestein den Phonolithen chemisch nahe steht.Auch sein Mineralbestand ist dem der Phonolithe ähnlich.Aus all diesen Beobachtungen wurde gefolgert,daß dieser Auswürfling ein Differentiationsprodukt des Heilsbergmagmas ist.

3.6.3.3.Tuffauswürflinge

Eingeschlossen in dem Gesamt-Tuff sind deutlich feinkörnigere,zum Teil gut geschichtete Tuffe.Sie haben einen Karbonatgehalt von 35%;er liegt also um einige Prozente höher als der des Gesamt-Tuffs.Der Mineralbestand beider vulkanischer Gesteine ist identisch.Eine genetische Deutung dieser Tuffe wird im Kapitel über die vulkanische Tätigkeit gegeben.

3.6.3.4.Tuffitauswürflinge

Ein grauer Tuffit,der im Gesamt-Tuff eingeschlossen ist, mit nahezu 50% Karbonatgehalt wurde durch seinen Mineralbestand als magmatogen bestimmt.Er enthält in seiner

schweren Fraktion (D über 2,95 g/cm^3),die 4 Gew.-% des Tuffites beträgt,überwiegend Magnetit,außerdem erscheinen aber auch die gleichen Minerale wie im Gesamt-Tuff: Pyroxen,Amphibol,Biotit,Apatit,Ägirinaugit und Pyrop.Die leichte Fraktion besteht hauptsächlich aus Montmorillonit, daneben tritt Kalifeldspat,Plagioklas,Quarz,Analcim,Limonit und Zeolith auf.Seine Genese wird später erörtert.

Ein weiterer Tuffit konnte nicht sicher als magmatogen bestimmt werden.Er kann auch aus dem Untergrund stammen. Er sieht rot aus und enthält über 50% Karbonat.Die schwere Fraktion (D über 2,95 g/cm^3) bildet knapp zwei Gew.-%, davon ist die Hälfte Magnetit,außerdem ist Apatit häufig, selten dagegen Augit,der nicht näher bestimmt werden konnte.Die leichte Fraktion enthält Quarz,Plagioklas,Kalifeldspat,Limonit,Analcim und Opal.

3.6.3.5.Gänge

Es wurden zwei Gangfüllungen untersucht,die Ergebnisse stimmen überein.Der Karbonatgehalt beträgt über 40%.Röntgenographisch wurde das Karbonat als Calcit bestimmt.In diesen Calcitgängen treten außerdem alle Minerale des Tuffs auf,die vermutlich vom Rand des Ganges abgerissen wurden,davon sind 2% Schwerminerale.Montmorillonit ist stark vertreten.

3.7.Magmenfremde Komponenten

3.7.1.Einzelminerale

Bei den Fremdmineralen herrscht eindeutig der Quarz vor. Er erscheint in allen Korngrößenfraktionen mit über 2% und erreicht etwa 20% bei 0,2-0,43 mm.Da bei den magmatogenen Mineralen Feldspatvertreter auftreten,muß der Quarz magmenfremd sein.Er stammt vorwiegend aus dem Grundgebirge und der Molasse.

Weit seltener sind Feldspäte.Orthoklase mit erkennbar unterschiedlichen Eigenschaften sind,ebenso wie die Plagioklase,magmenfremde Minerale.Die ersteren,da Sanidin mit Sicherheit magmatogen ist,die letzteren,da es überwiegend Tieftemperaturmodifikationen sind.(Dies wird später beim Einfluß des Magmas auf die Auswürflinge noch erörtert.) Weitere Hinweise auf ihre Fremdnatur sind die nie idiomorphen Formen und ihre zum Teil starke Zersetzung.Die Feldspäte stammen überwiegend aus dem Grundgebirge und der Molasse.Aus der Molasse treten auch Schwerminerale (Granat,Spinell und Turmalin) auf.

3.7.2.Auswürflinge

Eine Statistik,beruhend auf einer Auszählung von über 1000 Auswürflingen (auch magmatogenen) in einer Fläche von fünfmal 1-2 m^2 an verschiedenen Stellen des Aufschlusses,wurde aufgestellt.Gezählt wurden nur Auswürflinge mit einem Durchmesser von über 1 cm.Auswürflinge mit einem Durchmesser von über 5 cm wurden entsprechend stärker bewertet.

Magmatogene Auswürflinge	10%
Mergel ("Schluffstein",USM)	63%
Kalke (überwiegend Malmkalke,untergeordnet Muschelk.)	8%
Schiefer (Lias und Dogger)	1%
Magmatische Gesteine (und metamorphe Gesteine)	15%
Einzelne Auswürflinge aus verschiedenen Formationen (aus Mesozoikum und Tertiär)	3%

Die Formen der Auswürflinge sind sehr unterschiedlich,sie sind im wesentlichen abhängig von der Gesteinsart.Schiefer haben meist eine plattige oder leistenförmige Gestalt. Dagegen sind die richtungslos massigen Gesteine stets durch den Fördervorgang gerundet.Ihre Oberfläche ist uneben,rauh.Besonders an den Auswürflingen des Grundgebirges kann diese Abrundung gut beobachtet werden.Sie sind aber häufig an einer oder mehreren Seiten von ebenen

Flächen begrenzt.Diese ebenen Flächen dürften ihren Ursprung in mechanischer- oder Temperatursprengung während des Fördervorganges haben.Analog zu Meteoriten können an derartigen Auswürflingen also primäre und sekundäre Flächen unterschieden werden.Auswürflinge von fluviatil geformten Geröllen sind in der Regel von denen aus dem anstehenden Gestein der Schlotwand abgerissenen zu unterscheiden.Auswürflinge fluviatil geformter Gerölle zeigen eine vollkommenere Rundung und eine glattere Oberfläche.

3.7.2.1.Magmatische Gesteine

3.7.2.1.1.Tiefengesteine

Aus 37 mikroskopisch untersuchten Auswürflingen und makroskopischen Vergleichen mit weiteren über 100 Auswürflingen ergaben sich drei Hauptgruppen:

1. Granodiorite,die ausschließlich weiße Feldspäte enthalten (An 20-40%).Sie bilden 48 Vol.-% der Auswürflinge der Tiefengesteine.
2. Normalgranite-Granodiorite mit weißen und roten Feldspäten.Die Plagioklase haben einen An-Gehalt von 15-30%.Gebleichter Biotit ist häufig.42 Vol.-% der Auswürflinge der Tiefengesteine gehören dieser Gruppe an.
3. Quarz-Monzonite:Sie sehen weiß aus,sind meist grobkörnig und haben folgenden Mineralgehalt:Oligoklas (An 20-30%),Orthoklas,Quarz,Biotit (z.T.gebleicht). Es sind eventuell Schlieren von 2. Sie bilden 10% der Auswürflinge der Tiefengesteine.

Die ersten beiden Gruppen lassen sich weiter unterteilen:

1.1. Granodiorite:sehr feinkörnig,makroskopisch fast einheitlich grau erscheinend.Mineralgehalt: Plagioklas (An 25-35%),Orthoklas,Quarz,Biotit,selten wenig, nicht näher bestimmbare Hornblende. (13 Vol.-%)

1.2.Granodiorite-Syenodiorite:mittelkörnig.Mineralgehalt:Plagioklas (An 25-40%),Orthoklas,Quarz,Biotit, selten wenig,nicht näher bestimmbare Hornblende. (20 Vol.-%)

1.3.Granodiorite-Quarzdiorite:grobkörnig.Mineralgehalt: Plagioklas (An 20-30%),sehr wenig Orthoklas,Quarz, viel Biotit,sehr selten Pyroxen. (15 Vol.-%)

2.1.Normalgranite-Granodiorite:grobkörnig,insgesamt hell erscheinend,enthalten nur wenige rote und schwarze Komponenten.Mineralgehalt:Orthoklas,Oligoklas,Quarz,Biotit (z.T.gebleicht),selten nicht näher bestimmbare Hornblende. (15 Vol.-%)

2.2.Normalgranite:grobkörnig,mit roten und weißen Feldspäten.Mineralgehalt:Orthoklas,Oligoklas,Quarz,Biotit (häufig gebleicht),selten Muskowit,selten nicht näher bestimmbare Hornblende. (13 Vol.-%)

2.3.Granodiorite:mittelkörnig,rot aussehend.Mineralgehalt:Oligoklas,Orthoklas,Quarz,Biotit (meist gebleicht),selten Muskowit,selten nicht näher bestimmbare Hornblende. (14 Vol.-%)

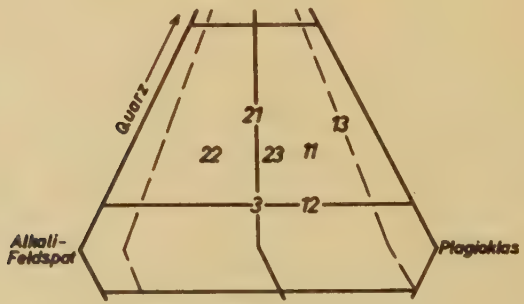

Abb.7 Verteilung der häufig auftretenden Auswürflinge der Tiefengesteine

Folgende Auswürflinge von Tiefengesteinen wurden nur einmal gefunden:

Normalgranit:mit Feldspäten bis zu etwa 2 cm Länge.Mineralgehalt:Orthoklas,Oligoklas,Quarz,limonitisierter Biotit,Hornblende und Magnetit.Er enthält keine roten Kalifeldspäte.

Syenit:rot,sehr grobkörnig.Mineralgehalt:Orthoklas,relativ viel Oligoklas,Apatit,gebleichter und auch chloritisierter Biotit (eventuell auch Hornblende) mit Limonit-Knöllchen und Zeolithe.

Syenodiorit:fast einheitlich dunkel,mittelkörnig.Mineralgehalt:Oligoklas,Orthoklas,Biotit,Hornblende (farblos im Dünnschliff,meist in Nestern und sehr feinkörnig,Aktinolith?),Erz,wenig Quarz.

Granodiorit:blau-grünlich mit roten Kalifeldspäten,mittelkörnig.Mineralgehalt:Oligoklas,Orthoklas,Quarz,Biotit, Hornblende und Erz.

Alle Tiefengesteinsauswürflinge sind richtungslos massig. Auf Grund der vorkommenden Schwerminerale (im wesentlichen Apatit,Zirkon,Rutil) war keine Gliederung möglich.Der Biotit erscheint hier stärker chloritisiert als bei den entsprechenden Auswürflingen fluviatil geformter Gerölle.Calcit tritt als Neubildung auf.

3.7.2.1.2.Ergußgesteine

Es wurden nur zwei Auswürflinge gefunden,die vermutlich Ergußgesteine sind.Sie zeigen eine stark verwitterte Grundmasse (jetzt überwiegend Zeolithe) mit porphyrischen Einsprenglingen (überwiegend Kalifeldspäte).Sie sind hell, fast weiß und porphyrisch.Mineralgehalt:Kalifeldspat (stark zersetzter Sanidin?),relativ viel Oligoklas,Quarz, Hornblendeflitterchen und Zeolithe (Thomsonit und Natrolith).Nach ihrem Mineralgehalt sind es Trachyte.

3.7.2.2.Metamorphe Gesteine

Auswürflinge metamorpher Gesteine sind selten.Es wurden sieben mikroskopisch untersucht und mit weiteren makroskopisch verglichen.

Über 50% der metamorphen Auswürflinge sind grobkörnige Gneise granodioritischer bis quarzdioritischer Zusammensetzung.Mineralgehalt:Oligoklas-Andesin,Quarz,Orthoklas und Biotit in sehr wechselnden Mengen.Der Biotit kann über 50% des Gesteins bilden.

Außerdem kommen folgende Typen vor:

Grobkörniger Meta-Alkaligranit mit dunkelgrünen und weißen Lagen.Mineralgehalt:Sanidin,Biotit,sehr wenig Ägirinaugit,Korund und Apatit.

Grün-schwarzer Meta-Quarzdiorit mit sehr feinkörnigen hellen Gemengteilen.Mineralgehalt:Andesin,Hornblende,Quarz, Biotit.

Feinkörniger,biotitreicher Quarzit.Mineralgehalt:frischer Biotit,Quarz und wenig Oligoklas.

Die Mengenverhältnisse von Auswürflingen der Tiefengesteine zu Ergußgesteinen und zu metamorphen Gesteinen sind 60:1:10.

3.7.2.3.Sedimentgesteine

Eine umfassende Arbeit über die Auswürflinge von Sedimentgesteinen in den "Phonolithtuffen" des Hegaus erschien 1910 von Buri.Die größten Auswürflinge von Sedimentgesteinen im Tuff des Heilsberges haben einen Durchmesser von über 1 m.Es sind Mergel der USM.Der Überblick über diese Auswürflinge ist nach geologischen Formationen gegliedert.

Trias:Die ältesten Auswürflinge gehören dem Muschelkalk an,sie sind nur spärlich vertreten.Es sind dunkel gefleckte Kalke,die von Malmkalken durch das

Vorhandensein von Feldspäten (unverzwillingte Kalifeldspäte) in ihren Lösungsrückständen (5%iger HCl) unterschieden werden konnten. Vermutlich aus dem Keuper stammt ein Stück sandiger Steinmergel, das wohl dem Kiesel- oder Schilfsandstein zuzuordnen ist.

Jura: Jura ist hauptsächlich durch helle Malmkalke vertreten, aber auch Kieselknollen und ein Bruchstück einer Schillage (Psilonotos-Schichten?) wurde gefunden. Außerdem soll ein grauer Kalkstein mit Schwammstruktur und Pyrit aus dem Massenkalk erwähnt werden. Aus dem Lias und Dogger wurden dunkle Schiefer gefunden.

Kreide: Wie im gesamten Hegau fehlen auch hier Auswürflinge aus der Kreideformation.

Tertiär: Aus der USM stammt der überwiegende Teil aller Auswürflinge. Es sind braune und grüne Mergel, die von Geologen "Schluffstein" genannt werden. Sie sind glimmerreich (Glimmersandrinne!). Das Verhältnis der braunen zu den grünen Mergeln ist etwa 10:1. Die braunen Mergel konnten mit den am Osthang des Buchberges bei Bietingen (3 km NW des Tuffs vom Heilsberg) anstehenden Mergeln parallelisiert werden. Außerdem wurden folgende auffällige Auswürflinge gesammelt, die dem Tertiär zuzuordnen sind: ein etwa 80 cm im Durchmesser betragender, dunkelgrauer Mergelbrocken mit Schnecken (Planorbis?) wie sie in den Haldenhofmergeln vorkommen. Auch einige Sandsteinstücke stammen aus der Molasse, so z.B. ein Glimmersandstein (OSM) von 2 kg Gewicht. Aus dem untersten Tertiär wurde ein Brocken von Bohnerzton gefunden.

An dieser Stelle möchte ich Herrn Dr. A. Schreiner vom Geol. Landesamt Freiburg für seine freundliche Unterstützung und manche wertvollen Ratschläge danken, die er mir besonders bei der Untersuchung der Sedimentgesteinsauswürflinge, aber auch an anderer Stelle zukommen ließ.

3.7.2.4.Fluviatile Gerölle

Fluviatile Gerölle sind selten.Es wurden über 10 Gerölle mikroskopisch untersucht.Sie unterscheiden sich im wesentlichen von den anderen Auswürflingen

1.durch ihre äußere Form,
2.durch eine Verwitterungszone parallel zu ihrer Oberfläche,
3.durch stärkere Verwitterung.Besonders trifft dies für Gerölle magmatischer Herkunft zu (zum Beispiel ist der Biotit stärker limonitisiert).

Gerölle aus Tiefengesteinsmaterial

Fein- bis mittelkörnige,massige,graue Gerölle granitischer Zusammensetzung sind relativ häufig.Mineralgehalt:Orthoklas,Oligoklas oder Andesin,Quarz,Biotit und selten Hornblende.

Fein- bis mittelkörnige,massige,schwarz-weiße Gerölle granodioritischer Zusammensetzung sind selten.Mineralgehalt:Oligoklas,selten Andesin,Orthoklas,Quarz,Biotit und selten Hornblende.

Gerölle aus Effusivgesteinsmaterial

Ein grünes,verkieseltes Geröll mit porphyrischen Quarzen wurde als Dazittuff bestimmt.Es ist jedoch nicht ausgeschlossen,daß es sich um ein metamorphes Gestein handelt.Mineralgehalt:Quarz,Andesin,Sanidin,Apatit, Pyrit und Limonit.

Gerölle aus metamorphem Gesteinsmaterial

Ein feinkörniger,grauer,lagiger Meta-Granodiorit enthält folgende Minerale:Andesin,Quarz,wenig Orthoklas und Biotit.

Ebenfalls nur ein Geröll wurde von einem feinkörnigen, grauen biotitreichen Quarzit gefunden.Er enthält Quarz,limonitisierten Biotit und wenig Oligoklas.

Gerölle aus sedimentärem Material

Gerölle dieser Art sind selten.Es konnten nur zwei sicher bestimmt werden.Ein hellgrau-bräunlicher Kalksandstein mit Quarz- und Kalkkörnern und karbonatischem Bindemittel stammt vermutlich aus dem Flysch;außerdem wurde ein Geröll eines alpinen Trümmerkalkes mit Echinodermenresten gefunden.Dies sind die ersten Gerölle alpiner Herkunft,die aus den Tuffen des Hegaus beschrieben werden.

Die Gerölle können aus verschiedenen Horizonten der Molasse (zum Beispiel den Kirchberger Schichten) und eventuell aus dem Rotliegenden-Konglomerat stammen.Jedoch wurden im Bohrkern der Bohrung Dingelsdorf,die das Rotliegend-Konglomerat erreicht,keine Gesteinsstücke mit charakteristischer Geröllform angetroffen.Im Gesteinsmaterial sind nur einige Gneise des Konglomerates mit Auswürflingen des Tuffes makroskopisch vergleichbar.
Es ist nicht auszuschließen,daß während des Fördervorganges fluviatile Gerölle ihre Form verlieren und deshalb als solche nicht zu erkennen sind.Dies scheint jedoch im Tuffschlot des Heilsberges nicht,zumindest nicht auffällig geschehen zu sein.Im zweidimensionalen Schnitt scheinen viele Auswürflinge stark gerundete Formen zu haben,jedoch zeigt sich im räumlichen Bild sehr oft,daß dies nur eine Vortäuschung der fluviatilen Geröllform ist.

3.7.3.Holzeinschluß

Ein Stück Holz von der Größe 3x1x0,2 cm wurde im Tuff gefunden.Es zeigte randliche Verkohlung.Eine Bestimmung am Institut für Angewandte Botanik der Universität Tübingen unter Herrn Prof.Dr.Zimmermann ergab,daß es sich um ein Laubholz handelt.Eine genauere Bestimmung war nicht möglich.Auch an dieser Stelle sei recht herzlich für diese Untersuchung gedankt.

4.VULKANOLOGISCHE ERGEBNISSE

Die Aussagen dieses vulkanologischen Teiles beschränken sich ausschließlich auf die Beobachtungen am Heilsberg. Folgerungen aus diesen Beobachtungen sollen später zusammen mit weiteren Beobachtungen an anderen Hegauvulkanen einen Einblick in den gesamten Magmatismus des Hegaus geben.Diese Arbeiten werden am Mineralogisch-Petrographischen Institut der Universität Tübingen ausgeführt.

4.1.Vulkanbau

Zur Schätzung der Herdtiefe des Heilsbergherdes können folgende Überlegungen angestellt werden."Ergebnisse seismischer Messungen auf der Süddeutschen Großscholle" (Fr.Breyer 1956) ließen im Bereich des Heilsberges auf Grundgebirge etwa 1000 m unter der Erdoberfläche (etwa 400 m unter NN) schließen.Durch die Ergebnisse der Bohrung Altishofen,die bei etwa 1700 m unter NN den mittleren Muschelkalk erreicht,angeregt,vermutet Breyer aber ein steileres Einfallen des Schwarzwaldkristallins nach SE.Die Tiefbohrungen **Scherstetten** 1,,Heimertingen 1 und Dingelsdorf erbohrten in etwa 2000 m,2300 m und 2700 m unter der Erdoberfläche Grundgebirge.Es ist anzunehmen, daß im Hegau die Senkung der Molassevortiefe nicht diese Mächtigkeit erreicht,da sich die Juratafel im Norden und Westen noch dicht an den Hegau anschließt.Die Teufe des Grundgebirges unter dem Heilsberg ist deshalb wohl auf 1500-2000 m zu schätzen.

Aus dem Verhältnis der Deckgebirgs- zu den Grundgebirgsauswürflingen kann etwa die Tiefe des Herdes im Grundgebirge abgeschätzt werden;dabei ist vorausgesetzt,daß die explosive Abrasion im Grund- und Deckgebirge die gleiche Wirkung erzielte.Hier sind erhebliche Fehler

möglich.Am Heilsberg ist das Verhältnis des Deckgebirges zu dem Grundgebirge etwa 1:1,wenn man die Molassemergel, die in ihrem stratigraphischen Niveau blieben,unberücksichtigt läßt.Aus diesem Verhältnis kann man mit Vorbehalten in etwa 4 km Tiefe den Heilsbergherd vermuten.Da aber wahrscheinlich die Abrasion in dem festen Grundgebirge weniger wirkungsvoll war,wird dies als Mindesttiefe des Heilsbergherdes angenommen.

4.2.Vulkanische Tätigkeit

Meist benutzen vulkanische Aufstiegszonen Fugen der Erdkruste.Der ungefähr elliptische Umriß des Tuffvorkommens am Heilsberg mit seiner Längserstreckung in NS-Richtung, etwa in Verlängerung der Immendinger Flexur,deutet auch hier auf eine tektonisch vorgezeichnete Aufstiegszone.

Die Abfolge der Differentiation (siehe später) setzt eine allmähliche Druckabnahme voraus;das läßt erwarten,daß auch die frühvulkanischen Vorgänge allmählich einsetzten. Die ersten vulkanischen Erscheinungen an der Erdoberfläche werden mit denen des Jorulla/Mexiko übereinstimmen, die Alexander von Humboldt 1869 beschrieb.Dort ging dem ersten Ausbruch "drei volle Monate lang ein ununterbrochenes unterirdisches Getöse voraus".Die Fördertätigkeit begann mit dem Auswurf feinster Asche.Später folgten heftige Explosionen.
Ähnlich stellt sich H.Cloos 1941 die frühvulkanischen Vorgänge des Schwäbischen Vulkans vor.Er erklärt damit feinkörnige "Ersttuffe" dieses Gebietes.Diese feinkörnigen vulkanischen Lockerprodukte können aber auch anders entstanden sein,wie K.H.Papenfuß 1960 zeigte oder hier für den Heilsberg dargestellt werden soll.
Im Gestein des Heilsberges können drei Typen von verfestigten Lockerprodukten unterschieden werden:

1.Die Hauptmasse,der grobkörnige Tuff,
darin treten als Auswürflinge auf:
2.feinkörnigere,teilweise geschichtete Tuffe,
3.feinstkörnige Tuffite.

Es soll im folgenden versucht werden diese Gesteinstypen besonderen vulkanischen Phasen zuzuordnen.
Nach der ruhigen Anfangsphase der vulkanischen Tätigkeit setzten stärkere Explosionen ein,die gröberes Material (Blöcke,Bomben und Lapilli) förderten.Diese Explosionen ließen die Hauptmasse des Tuffs entstehen.Zwischen diesen intensiveren Förderphasen schwächte sich die vulkanische Tätigkeit ab und es wurden nur feinkörnigere Auswurfsmassen abgelagert.In dieser und in der Anfangsphase entstanden die feinkörnigeren Tuffe,die jetzt als Einschlüsse vorliegen.Zeitweilig ruhte die vulkanische Tätigkeit vollständig.Der Krater füllte sich mit Wasser.In diesem Kratersee bildeten sich die Tuffite.Diese Phasen unterschiedlich starker vulkanischer Tätigkeit wiederholten sich.
Durch spätere Eruptionen wurden bereits abgelagerte Auswurfsmassen zersprengt,in neue eingebettet oder fielen teilweise zurück in den Schlot.
Es können also folgende drei Intensitäten vulkanischer Tätigkeit am Heilsbergvulkan unterschieden werden:

1.Starke Eruptionstätigkeit Produkt:die Hauptmasse des Tuffs
2.Schwache " Produkt:feinkörniger Tuff
3.Keine " Produkt:Tuffit

Die beobachtete Schichtung im Aufschluß,die durch nur geringe Unterschiede in Material und Korngröße hervorgerufen wird,zeigt,daß der Heilsberg ein mehrphasiger Vulkan gewesen sein muß.
In der letzten Phase des Vulkanismus erfolgte die hydrothermale Verkittung des Tuffs mit der Bildung von Calcit und der Umwandlung von vulkanischem Glas zu Montmorillonit.

Vermutlich zur gleichen Zeit füllten sich Spalten aszendent und bildeten die Calcitgänge.
Für eine nicht allzu kurze Eruptionszeit spricht die "Tuffisierung" (H.Cloos 1941) von größeren Mergelbrocken.

Ungefähr ein Drittel des Volumens des Tuffs bilden Molassemergel,die in ihrem stratigraphischen Niveau blieben. Der Rest,also zwei Drittel des Volumens,wurde aus der Tiefe gefördert.

4.3.Magmentyp

Für den Tuff des Heilsberges werden die Lapilli als Repräsentanten des den Tuff bildenden Magmas angesehen.Es sind Produkte der aufsteigenden Schmelze,die während der Eruption erstarrten.Aus den auf Seite 32 angegebenen Analysen errechnen sich folgende Niggliwerte:

	<1 cm Ø	1-4 cm Ø	>4 cm Ø
si	73,4	74,5	89,5
al	13,4	13,3	16,3
fm	58,8	53,9	62,9
c	20,9	26,4	16,2
alk	6,9	6,4	6,1
ti	6,52	5,08	5,59
p	1,67	1,65	2,26
mg	0,53	0,53	0,51
k	0,22	0,20	0,53
qz	-49	-48	-35

Tab.9 Niggliwerte der Lapilli-Analysen (s.S.32)

Man erkennt,daß die Niggliwerte zweier Analysen sehr gut übereinstimmen,dagegen weicht die dritte Analyse etwas ab. Dies ist bedingt durch die Variationsbreite der Mineralzusammensetzung und den Verwitterungsgrad.Es werden daher die Niggliwerte der drei Analysen gemittelt.

Folgende Werte ergeben sich:
si 79,1/al 14,3/fm 58,5/c 21,2/alk 6,5/k 0,32/mg 0,52

Vergleicht man diese Werte mit den Magmentypen nach C.Burri 1959,so ergibt sich die beste Übereinstimmung mit dem ankaratritischen Magmentyp,der dort mit

si 75 /al 13 /fm 52 /c 27 /alk 7 /k 0,3 /mg 0,6

angegeben ist.Relativ am stärksten weicht der c-Wert ab. Es ist anzunehmen,daß ein Teil des Calciums des Calcites, der vor der Berechnung der Niggliwerte abgezogen wurde, aus dem Magma stammt.Der ankaratritische Magmentyp wird der Natronreihe zugerechnet,in diese Reihe sind auch die Differentiationsprodukte gut einzuordnen.
Die Vermutung P.Nigglis 1922,daß das den Hegau-Deckentuff speisende Magma die Zusammensetzung des Biotit-Hauyn-Ba= saltes von Wesseln/Polzengebiet Böhmen

(si 98 /al 21 /fm 43 /c 24 /alk 12 /k 0,3 /mg 0,5)

besitzt,konnte für den Heilsberg nicht bestätigt werden.

4.4.Namengebung

Die Benennung des Tuffs beruht auf seinen magmatogenen Komponenten.Nach dem Magmentyp und dem aktuellen Mineral= bestand wären die Lapilli als ankaratritischer analcim= führender Biotit-Hornblende-Pyroxenit zu bezeichnen.
Die berechnete modale Mineralzusammensetzung der Lapilli zeigt Tabelle 10.

Pyroxen	52%	Sanidin	+
Magnetit	13	Perowskit	+
Analcim	12	Zeolith	+
Hornblende	10	Melilith	+
Biotit	6	Pyrit	+
Apatit	4	Ilmenit	+

Tab.10 Modaler Mineralbestand der Lapilli

Wird die Nomenklatur von Johannson 1958,die auf der modalen Mineralzusammensetzung beruht,benützt,so kann der kürzere Name Analcim-Phonolith-Pyroxenit gegeben werden. Er erhält nach der Klassifikation von Johannson die Nummer 3'121 E.
Dieser Name gilt streng genommen nur für die Lapilli im Tuff.Das gesamte Gestein wird deshalb als ANALCIM-PHONOLITH-PYROXENIT-TUFF bezeichnet,oder gekürzt als

PHONOLITH-PYROXENIT-TUFF.

4.5.Differentiation des Heilsbergmagmas

An den Einzelmineralen des Tuffs wurde die Kristallisationsfolge Pyroxen-Amphibol-Biotit beobachtet,dies ist bei der Beschreibung der magmatogenen Einzelminerale besprochen worden.In den dunklen Bomben ist die Ausscheidungsfolge Biotit-Amphibol-Pyroxen,also umgekehrt (s.S.37).Von den Einzelmineralen zu den Bomben werden die Minerale eisenreicher,was besonders am Pyroxen deutlich zu beobachten ist.Daraus kann in dieser Richtung eine Temperaturabnahme zur Zeit der Kristallisation gefolgert werden.Daß während der Ausscheidung der dunklen Bomben eine Druckabnahme stattfand,wurde bereits auf Seite 37 erörtert.Aus diesen Beobachtungen geht hervor,daß die vulkanischen Produkte in der Folge Einzelminerale-dunkle Bomben-Lapilli entstanden sind.Es sind also Zeugnisse für drei Phasen der Kristallisation und Differentiation zu beobachten.
Werden in einem Diagramm die Stabilitätskurven von Amphibol (Boyd 1954) und Biotit (Yoder und Eugster 1954),sowie die Umwandlungskurve von dem Hypo- zum Pyromagma (Rittmann 1960) eingezeichnet,so kann die Kristallisationskurve des Heilsbergmagmas konstruiert werden.Die Stabilitätskurven der Minerale sind entsprechend der chemischen Mineralzusammensetzung zu niedrigeren Temperaturen verschoben worden (Turner und Verhoogen 1960).(Siehe Abb.8)

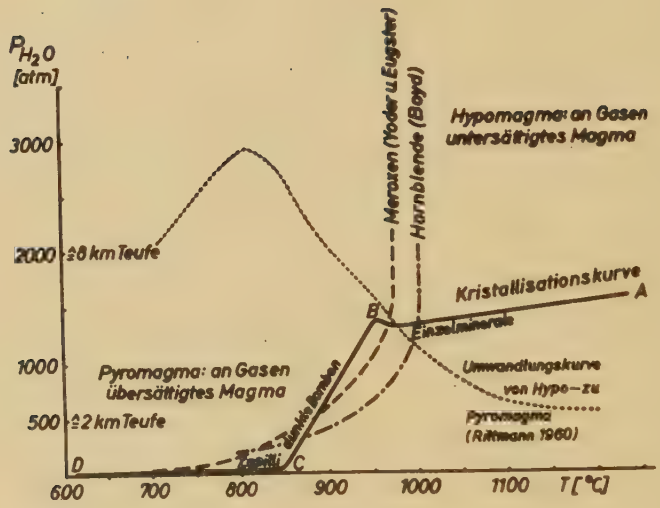

Abb.8 Die Kristallisationskurve des Heilsbergmagmas

In der ersten Phase,bei hohen Drucken und Temperaturen, kristallisierten dunkle,schwere Minerale (vorwiegend Py= roxene),die in tiefere,wärmere Bereiche absanken und dort mindestens zum Teil wieder aufgelöst wurden (Niggli 1920).Durch diese Saigerung,nach Turner und Ver= hoogen 1960 der wirkungsvollste Differentiationsvorgang, wurde die homogene Stoffverteilung im Magmenkörper ge= stört.Im oberen Bereich,aus dem die schweren Minerale absanken,konnte eine relative Anreicherung an SiO_2 und Alkalien erfolgen,das Verhältnis FeO:MgO stieg,dagegen verarmte dieser Teil der Schmelze an Ca.(Eine weitere Alkalianreicherung kann durch den später einsetzenden Gastransport eingetreten sein.) Ein derartiges alkali= reiches Differentiat aus höheren Bereichen stellt wohl die helle Bombe dar.-Andere ausgeschiedene Kristalle blieben schweben und wurden später ausgeworfen.Daß

diese Kristalle lange Zeit bei recht hoher Temperatur verharrten,sieht man am Enstatit:Es war genug Zeit vorhanden für die Umwandlung des sicherlich primär ausgeschiedenen Klinoenstatits in Enstatit und für die Bildung der Entmischungslamellen nach (100).
Die zweite Phase lief während des allmählichen Magmenaufstiegs bei abnehmenden Drucken und Temperaturen ab. Etwa zu Beginn der zweiten Phase entstand durch die sich ändernden PT-Bedingungen aus dem an Gasen untersättigten Hypomagma ein an Gasen übersättigtes Pyromagma.Durch den hierbei einsetzenden Gastransport konnte im oberen Magmenbereich eine weitere Alkalianreicherung eintreten.Es fand eine allmähliche Druckentlastung statt,die genügend Zeit zur Bildung grobkristalliner Aggregate ließ.Ein Teil der im Magma aufsteigenden Gase wird in das Nebengestein entwichen sein und dieses allmählich für den Aufstieg des Magmas vorbereitet haben.
In dieser Phase kristallisierten die dunklen Bomben.Die beobachtete Ausscheidungsfolge der dunklen Bomben entspricht der in Abb.8 wiedergegebenen Kristallisationskurve.Diese Bildung der dunklen Bomben geschah in solchen Anteilen des Magmas,die aufsteigend sich durch Kristallisation und Absinken der Kristallisate differenzierten.Die eisenreichsten Pyroxenbomben entsprechen dem letzten Stadium dieser Kristallisationsdifferentiation.

In der dritten Phase erfolgte die explosive Förderung.Es wurde nun alles miteinander gefördert:das noch nicht weiter differenzierte Stammagma mit seinen schon in großer Tiefe gebildeten Kristallen als Lapilli und feine Asche, sowie die im Verlauf einer,offenbar nur in Teilbereichen abgelaufenen,Differentiation ausgeschiedenen Bomben.Dieser Phase werden außer kleinen Biotitschüppchen,die in der ehemals glasigen Grundmasse der Lapilli schwimmen,auch die Foide zugeschrieben.

Wie der Abbildung 8 zu entnehmen ist,lag die Eruptions= temperatur unter 850°C.
Diese Darstellung der Kristallisation erklärt die Vari= ationsbreite der Eigenschaften der verschiedenen Mineral= arten.Die eisenärmsten und eisenreichsten beobachteten Glieder der drei Mineralarten Biotit,Amphibol,Pyroxen aus den Differentiaten des Tuffs vom Heilsberg wurden chemisch analysiert.Sie sind in Abb.9 dargestellt.Das gesamte bestimmte Eisen ist für diese Darstellung zu Fe'' umgerechnet.

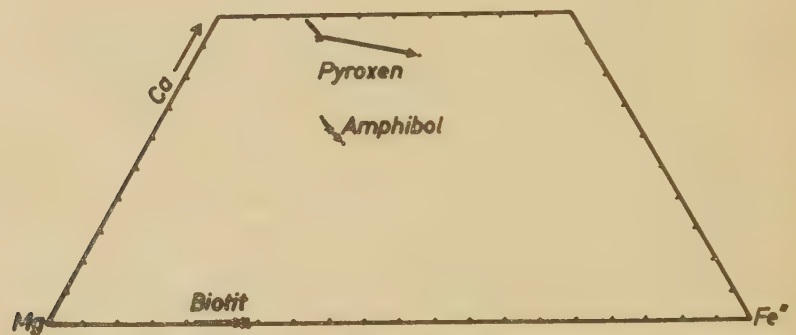

Abb.9 Die Entwicklung der femischen Silikate in den Dif= ferentiaten des Tuffs vom Heilsberg.Die mit x ge= kennzeichneten Minerale sind koexistent in Bombe 3.

Die Entwicklung innerhalb der Mineralarten läuft zu den eisenreichen Gliedern.Es ist zu erkennen,daß die Unter= schiede im Chemismus innerhalb der Pyroxene am größten sind.Dies ist an Hand der Kristallisationskurve des Heils= bergmagmas leicht zu erklären.Pyroxen schied sich wäh= rend des längsten Zeitintervalls aus.-Gleichzeitig ist deutlich,daß der Einbau von Ca mit steigender Verknüpfung der SiO_4-Tetraeder in diesen Mineralarten abnimmt.
Die geringe Variationsbreite der Eigenschaften der im

Tuff einzeln vorkommenden magmatogenen Minerale zeigt, daß sie sich alle unter etwa gleichen Bedingungen,also wohl erst gegen Ende der ersten Kristallisationsphase, gebildet haben.
Magnetit,Apatit und Perowskit sind zumindest überwiegend Frühausscheidungen.
Die beobachteten verschieden eisenreichen Klinopyroxene in den vulkanischen Produkten des Tuffs,sowie korrodierte Minerale zeigen,daß das Magma mit seinen Ausscheidungen nicht immer im Gleichgewicht stand.Dafür sprechen auch Pigeonit und Enstatit.Zur Zeit der Eruption müssen diese bereits instabil gewesen sein,da die calciumreichen Klinopyroxene schon die Zwei-Pyroxen-Grenze (H.H.Hess 1941) erreicht hatten.

Aus den chemischen Analysen der dunklen Bomben auf Seite 39 und der hellen Bombe auf Seite 42 errechnen sich die Niggliwerte:

	Biotit-Hbl.-Augit-Bombe anal.Dittrich	Hornblende-Augit-Bombe	Augit-Bombe	Helle Bombe
si	82,3	84,0	85,9	169,1
al	8,5	7,2	7,0	29,5
fm	56,5	59,4	53,0	27,3
c	26,4	28,8	36,0	16,2
alk	8,6	4,6	4,0	27,0
ti	4,68	4,66	6,29	1,81
p	0,60	0,82	2,58	0,54
mg	0,66	0,67	0,42	0,49
k	0,35	0,28	0,06	0,31
qz	-52	-35	-30	-39

Tab.10 Niggliwerte der Bomben-Analysen

Vor der Berechnung der Niggliwerte wurde CaO entsprechend den Karbonatgehalten abgezogen.Bei der Biotit-Hornblende-

Augit-Bombe,deren Analysenergebnisse aus der Literatur stammen,wurden 1,5% CaO berücksichtigt,was dem angegebenen Verwitterungsgrad entsprechen dürfte.Da der Calcit der hellen Bombe primär ist,errechnen sich die Niggliwerte direkt aus der Analyse.Die Niggliwerte der Lapilli sind auf Seite 55 zusammengestellt.

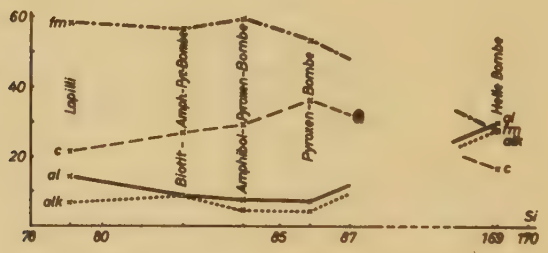

Abb.10 Graphische Darstellung der Niggliwerte von den Differentiationsprodukten des Heilsbergmagmas

Die Darstellung zeigt,daß die dunklen Bomben in ihrer Kristallisationsfolge saurer werden.Die Abnahme des fm-Wertes in der Kristallisationsfolge der dunklen Bomben wird trotz steigenden Eisengehaltes durch starke Abnahme von Magnesium hervorgerufen.Die helle Bombe ist das sauerste,die Lapilli sind die basischsten Produkte.

4.6.Einfluß des Magmas auf die Auswürflinge magmenfremder Gesteine

Der Einfluß des Magmas auf die eingeschlossenen Fremdgesteine war gering.Nur sehr wenige Kalke sind gerötet. Es wurden zwei gerötete Kalke in etwa 4%iger Salzsäure aufgelöst.Der Rückstand wurde mikroskopisch untersucht,

es ergab sich aber kein Hinweis auf metasomatische Mineralneubildungen.Auch in von geröteten Kalken angefertigten Dünnschliffen konnten keine Umkristallisationen oder Neubildungen beobachtet werden.Die untersuchten Kalksteine waren sehr rein,sie bestanden aus feinkristallinen Calcitkörnern.

Wie bereits auf Seite 44 erwähnt,sind die meisten eingeschlossenen Plagioklase Tieftemperaturmodifikationen. Eine sichere Ausnahme wurde an einem in einem Lapilli eingeschlossenen Quarzdioritbröckchen festgestellt.Darin sind die Plagioklase eindeutig Hochtemperaturmodifikationen.Sie hatten bei einem Anorthitgehalt von 21-26% einen optischen Achsenwinkel $2V_x$ von 62-67°.Die Temperaturmodifikationen wurden außer nach dem Achsenwinkel auch nach den Winkeln zwischen Zwillingsachse und n_x, n_y,n_z bestimmt (v.d.Kaaden 1951).

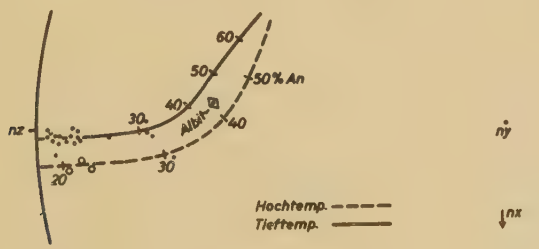

Abb.11 Lage der Zwillingsachse zu n_x,n_y,n_z bei Plagioklasen zur Bestimmung der Temperaturmodifikation (o aus einem Lapillikern,• aus Tiefengesteinsauswürflingen bzw.aus freien Plagioklasen).

Aus dieser Beobachtung muß man folgern,daß die Plagioklase

im Tuff nicht magmatogen sind,denn,da die eindeutig frem= den Plagioklase des Quarzdiorites Hochtemperaturmodifika= tionen sind,müßten magmatogene Plagioklase erst recht in der Hochtemperaturmodifikation erstarrt sein.Die weit überwiegende Zahl der frei im Tuff auftretenden und daher für magmatogen in Frage kommenden Plagioklase sind aber Tieftemperaturmodifikationen,oder stehen diesen nahe.

Daß der Einfluß des Magmas auf die Auswürflinge nach der Eruption ganz gering war,beweist die Erhaltung des einge= schlossenen Holzes.Es zeigte nur randlich schwache Ver= kohlungen.

5.ALTERSBESTIMMUNGEN

Aus stratigraphischen Angaben kann für den Tuff vom Heils= berg keine genaue Altersangabe gewonnen werden.Der Stein= bruch liegt ungefähr in der stratigraphischen Höhe der Haldenhofmergel (mio 1) und der Steinbalmensande (mio 2). Die vulkanische Tätigkeit muß also jünger sein.Zu diesem Ergebnis kamen bereits Ehrat und Joos 1921,die am ver= gleichbaren Tuff des Hohentwiels durch Schneckenfunde die vulkanische Tätigkeit des Hegaus als sarmatisch be= stimmen konnten.Seemann 1929 bestimmte das Alter auf Grund von Fossilien als mittleres Obermiozän.Er fand in mehreren Tuffen des Hegaus Fossilien,die er als einge= schwemmt annimmt.Vom Heilsberg erwähnt er die Muschel Cepaea sylvestrina geniculata (Sandbg.).Das Holz,das jetzt im Tuff des Heilsberges gefunden wurde,lieferte keine Angabe zur Altersbestimmung.
Eine absolute Altersbestimmung an Biotiten der zuerst kristallisierten Einzelminerale nach der Kalium-Argon-Methode,durchgeführt unter Herrn Prof.Gentner am Max-Planck-Institut für Kernphysik in Heidelberg,wofür auch an dieser Stelle gedankt sei,ergab ein Alter von 14,0 $\pm$ 0,2 Mill.Jahren.Eine weitere absolute Altersbestimmung

am Biotit des Heilsberges nach der Kalium-Argon-Methode, durchgeführt am Brookhaven National Laboratory/U.S.A., die freundlicherweise von Herrn Research Assoc.Prof. B.E.Sabels/Reno,U.S.A. vermittelt wurde,ergab ein Alter von 14,4 ± 5 Mill.Jahren.Auch für diese Bestimmung sei hier der Dank ausgesprochen.Nach den neuesten absoluten Zeitskalen reicht das Miozän von 11-25 Mill.Jahren (Holmes 1959),12-23 Mill.Jahren (Kulp 1960)beziehungsweise 12-25 Mill.Jahren (Evernden u.a.1961).Der Tuff vom Heilsberg mit dem ermittelten Alter von 14 Mill. Jahren fällt in jedem Falle ins Obermiozän.Dies stimmt auch mit den auf paläontologischer Grundlage erzielten Altersbestimmungen überein.

6.VERGLEICH MIT DEN MELILITHITEN UND PHONOLITHEN DES HEGAUS

Werden die Differentiationsprodukte des Heilsbergmagmas mit den zwei anderen verbreitetsten vulkanischen Gesteinen des Hegaus,den Melilithiten und Phonolithen,verglichen,so ist folgendes zu erkennen.
Die Lapilli und dunklen Bomben stehen in ihrem Chemismus den Melilithiten nahe.Die Melilithite sind etwas basischer,dies zeigen die in Abb.12 dargestellten Niggliwerte.Geringer ist die Ähnlichkeit im Mineralbestand dieser Gesteinstypen,was durch die unterschiedlichen PT-Bedingungen zur Zeit ihrer Bildung bedingt ist.(Mineralbestand der Melilithite nach Leopold 1941:Pyroxen,Melilith, Olivin,Magnetit,Nephelin,Biotit.)
Die helle Bombe steht in ihrem Chemismus den Phonolithen nahe.Auch bei diesen beiden Gesteinen ist der Mineralbestand durch unterschiedliche PT-Bedingungen zur Zeit ihrer Bildung verschieden,aber ähnlich.(Mineralbestand der Phonolithe nach Cushing und Weinschenk 1892:Sanidin,Nephelin,Sodalithgruppe,Leucit,Augit,Ägirin,Biotit,Apatit,Titanit,Zirkon.)

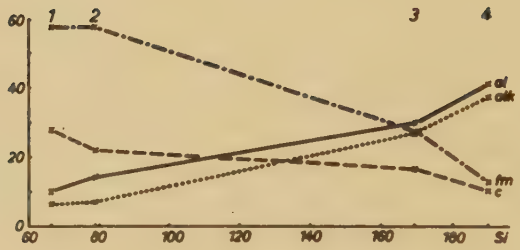

Abb.12 Graphische Darstellung der Niggliwerte von
1.Melilithiten (Mittelwert aus 5 Analysen)
2.Lapilli des Heilsberges(Mittelwert aus 3 Anal.)
3.der hellen Bombe des Heilsberges
4.Phonolithen (Mittelwert aus 5 Analysen)

Außer den vom Heilsberg bereits erwähnten Analysen wur= den folgende verwandt:

Phonolith,Gönnersbohl,anal.Labor d.Min.Inst.d.Univ.Tüb.
Phonolith,Schwindel,anal.W.Weiskirchner
Phonolith,Mägdeberg,anal.W.Weiskirchner
Phonolith,Hohentwiel,angegeben von P.Niggli 1922
Phonolith,Mägdeberg,angegeben von P.Niggli 1922
Melilithit,Homboll,anal.W.Weiskirchner
Melilithit,Höwenegg,Burgstall,anal.W.Weiskirchner
Melilithitbasalt,Neuhöwen,angegeben von P.Niggli 1922
Melilithitbasalt,Stoffelhof,Hohenstoffeln, " "
Melilith-Nephelinbasalt,Wartenberg, " "
Alle hier erwähnten,nicht von P.Niggli angegebenen Analysen,sind der "Einführung zu den Exkursionen der Deut.Min.Ges."von W.von Engelhardt und W.Weiskirchner 1961 entnommen.

Die Niggliwerte der dunklen Bomben bleiben in dieser Dar= stellung unberücksichtigt,da sie eine Sonderentwicklung

darstellen.Sie sind denen der Lapilli sehr ähnlich.

Die chemische Ähnlichkeit der hellen Bombe mit den Phonolithen und die der Lapilli mit den Melilithiten deutet an,daß möglicherweise ein ähnlicher Differentiationsvorgang,der die Differentiate des Heilsberges entstehen ließ,auch im Großen die Phonolithe und Melilithite des Hegaus aus einem gemeinsamen Stammagma erzeugte.Seine Zusammensetzung kann etwa den Niggliwerten si=100-120 und den nach Abb.12 dazugehörigen Werten für fm,al,c und alk entsprochen haben.

7.ZUSAMMENFASSUNG

Das Tuffvorkommen am Heilsberg bei Gottmadingen/Hegau wurde geologisch neu kartiert.Geologische Beobachtungen und Messungen ließen auf seinen Umriß und sein Zentrum schließen.Der Aufschluß,ein aufgelassener Steinbruch, befindet sich im Inneren des Vulkanbaues.
Der feste,grau-braune Tuff hat ein porphyroklastisches Gefüge.Über 50% des Gesteinsvolumens bilden Auswürflinge.Nach der Aufbereitung wurde das Gestein nach Korngrößen analysiert.Der Sortierungsgrad ist schlecht.
Die magmatogenen Minerale wurden optisch,chemisch und röntgenographisch untersucht,sie bilden 17,5 Gew.-% des Gesteins.Es sind dies nach ihrer Häufigkeit geordnet: Salit,Magnetit (mit Ilmenitentmischung und Pyrit in Rissen),Meroxen,eisenhaltiger Edenit,Fluorapatit (mit 20% Chlorapatit),Analcim,Sanidin (50-60% Or) und Zeolithe (Laumontit und Chabasit);sehr selten sind Perowskit,Melilith,Enstatit,Pigeonit,Ägirinaugit und Gips.
10,6 Gew.-% des Tuffes sind Bindemittel.Es besteht aus Montmorillonit,der aus vulkanischem Glas entstand,und Calcit.
An magmatogenen Auswürflingen (13,4 Gew.-% des Gesteins) treten grobkristalline,gleichkörnige,dunkle und helle,

stets über 2 cm große Bomben und porphyrische,grau-grüne,kugelige,meist unter 2 cm große Lapilli auf;untergeordnet kommen frühere Tuffe und Tuffite vor.
Aus chemischen und optischen Untersuchungsergebnissen konnte eine Differentiation des Magmas erkannt werden. Eine helle Bombe dürfte das Produkt eines alkalireichen, sauren Magmenbereiches darstellen.-Während des Magmenaufstieges bildeten sich dunkle Bomben.Innerhalb der dunklen Bomben wurde eine Ausscheidungsfolge von biotitreichen über amphibolreiche zu pyroxenreichen Aggregaten festgestellt,wobei der Eisengehalt der femischen Silikate zunimmt.Diese Reihe weist auf gleichzeitige P- und T-Abnahme zur Zeit ihrer Bildung hin.Koexistente femische Silikate wurden optisch und chemisch untersucht. Die Pyroxene dieser Bomben zeigen eine ähnliche Entwicklung wie in Alkali-Olivin-Basalten.-Die Lapilli,die Produkte des erumpierten Magmas,sind die basischsten magmatogenen Aggregate.Sie gehören dem ankaratritischen Magmentyp an und enthalten die gleichen Minerale,die auch einzeln im Tuff auftreten.-Eine Kristallisationskurve des Magmas wird angegeben.
Magmenfremde Minerale (besonders Quarz und Feldspäte) aus den durch die vulkanische Tätigkeit durchschlagenen Schichten bilden etwa 20% des Gesteins.
Der weit überwiegende Teil der Auswürflinge ist magmenfremd.63% der Auswürflinge bilden Molassemergel,etwa 15% sind Tiefengesteine (meist Granodiorite und Granite). Außerdem treten noch relativ häufig Kalke,Schiefer,metamorphe Gesteine und fluviatile Gerölle auf.-Der Einfluß des Magmas auf die Auswürflinge war gering.
Die vulkanische Tätigkeit war mehrphasig.
Absolute Altersbestimmungen an Biotit ergaben ein Alter von 14 Mill.Jahren.Nach diesen und auf Grund paläontologischer Untersuchungen erfolgten die Eruptionen im

Obermiozän.
Das Gestein wird Phonolith-Pyroxenit-Tuff genannt.
Die Differentiate des Heilsbergmagmas werden mit den Phonolithen und Melilithiten des Hegaus verglichen.

Herrn Professor Dr.W.v.Engelhardt,meinem verehrten Lehrer, danke ich für die Anregung zu diesem Thema und für seine stete Unterstützung und Beratung während dieser Arbeit. Auch Herrn Dr.W.Weiskirchner möchte ich an dieser Stelle für wertvolle Ratschläge danken.
Die Untersuchungen wurden am Mineralogisch-Petrographischen Institut der Universität Tübingen ausgeführt.

8.LITERATURVERZEICHNIS

Barth,T.F.W. Theoretical Petrology,New York 1951

Bermann,H. Constitution and Classification of the Natural Silikates,Amer.Min.22 (1937) 342-408

Boyd,F.R. Amphiboles,Ann.report of the director of the Geophys.Lab.,Carnegie Institute,Washington Yearbook 53 (1954) 108-111,55 (1956) 198-200

Breyer,Fr. Ergebnisse seismischer Messungen auf der Süd=deutschen Großscholle,besonders im Hinblick auf die Oberfläche des Varistikums,Ztsch.deut.Geol.Ges.108 (1956) 21-26

Buri,Th. Über Deckgebirgseinschlüsse in den Phonolithtuf=fen des Hegaus,Diss.1910,Freiburg/Breisgau

Burri,C. Petrochemische Berechnungsmethoden auf äquivalen=ter Grundlage,Basel und Stuttgart 1959

Cloos,H. Bau und Tätigkeit von Tuffschloten,Untersuchungen an dem schwäbischen Vulkan,Geol.Rundschau 32 (1941) 707-800

Cotta,B. Phonolith-Tuff mit neptunischen Gesteins-Stücken, Phonolith-Fels am Hohentwiel,N.Jb.f.Min.,Geolog., Geognosie und Petrefakten-Kunde (1853) 684

Cushing,H.P.und Weinschenk,E. Zur genauen Kenntnis der Phonolithe des Hegaus,Tscherm.Mineralog.und Petrogr. Mitt.13 (1892) 18-38

Ehrat,H.und Joos,C.H. Das Alter der vulkanischen Tuffe im Kirchheim-Uracher Gebiet und im Hegau,Geol.Paläont. Mitt.1 (1921) Stuttgart

Engelhardt,W.v.und Weiskirchner,W. Einführung zu den Ex=kursionen der Deut.Min.Ges. zu den Vulkanschloten der Schwäb.Alb und in den Hegau während der 39.Jahresta=gung in Tübingen vom 11.-17.Sept.1961

Erb,J.Die vulkanischen Auswurfsmassen des Hegaus,Viertel=jahresschr.d.Nat.forsch.Ges.Zürich 45 (1900) 1-57

Erb,L. Geolog.Spezialkarte von Baden,Erläut.zu Blatt Hilzingen (Nr.146) 1931 Freiburg/Breisgau

Evernden,J.F.,Curtis,G.H.,Obradovich,J.und Kistler,R. On the evaluation of glauconite and illite for dating sedimentary rocks by the potassium-argon method,Geochim.et Geochosm.Acta 23 (1961) 78-100

Füchtbauer,H. Zur Nomenklatur der Sedimentgesteine,Erdöl und Kohle,12 (1959) 605-613

Gmelin,C.G. Beiträge zur näheren Kenntnis der Natur vulkanischer Gebirgsarten,Naturw.Abhandl.Hrsg.v.Einer Gesellschaft in Würtemberg 2 (1828) 133-163

Hess,H.H. Pyroxenes of mafic Magmas,Amer.Min. 26 (1941) 515-535,573-594

Hess,H.H. Chemical composition and optical properties of common clinopyroxenes I,Amer.Min. 34 (1949) 621-666

Hess,H.H. Orthopyroxenes of the Bushveld Type,Ion Substitutions and Changes in Unit Cell Dimensions,Amer. Journ.of Sci.Bowen Vol. 180 (1952) 173-187

Holmes,A. A Revised Geological Time-Scale,Trans.of the Edinburgh Geol.Soc. 17 (1959) 183-216

Hori,F. Effects of Constituent Cations on the Optical Properties of Clinopyroxenes,Sci.Papers Coll.Gen. Education Univ.Tokyo 4 (1954) 71-83

Humboldt,A.v. Kosmos Bd.4 Jubiläumsausgabe zum 14.Sept. 1869 Seite 334

Jagitisch,R. Geol.Diffusion in kristallisierten Phasen, Arkiv.Min.Geol.Stockholm I (1954) 64-93

Johannson,A. A Descriptive Petrography of the Igneous Rocks (1958) Chicago,Illinois

Kaaden,G.v.d. Optical Studies on Natural Plagioclas Feldspars with High- and Low-Temperature Optics,Diss. (1951) Utrecht

Kulp,J.L. The Geological Time Scale,Report of the Twenty-First Session Norden (1960) Part 3,18-28

Niggli,P. Die leichtflüchtigen Bestandteile im Magma, Preisschrift der Fürstl.Jablonowskischen Ges.zu Leipzig 17 (1920)

Niggli,P.und Hübscher,J. Bericht über die Exkursion der Schweiz.Geol.Ges.in das Hegau und den Randen vom 28.-31.Aug.1921,Eclogae Geolog.Helvetiae 16 (1920-1922) 593-611

Leopold,G. Die chemischen und physiographischen Beziehungen der basischen Eruptiva der Alb,des Hegaus und des Polzengebietes (Sudetenland) zu den Ankaratriten Madagaskars,Jahresh.und Mitt.des Oberrh.geol. Vereins N.F. 29 (1940) 88-126

Muir,I.D. The Clinopyroxenes of the Skaergaard intrusion, Eastern Greenland,Min.Mag. 29 (1950-52) 690-714

Murray,R.J. The Clinopyroxenes of the Garbh Eilean sill, Shiant Isles,Geol.Mag. 91 17-31

Papenfuß,K.H. Das Schlotkonglomerat des Bürzlen bei Eningen u.d.A.(Schwäb.Alb),Diss.(1961) Tübingen,erscheint in Jahreshefte d.Geol.L.A.Bad.Württbg. 6 1962

Ramdohr,P. Wichtige neue Beobachtungen an Magnetit,Hämatit, Ilmenit und Rutil,Abh.d.Preuß.Akademie d.Wiss. Math. nat.Klasse (1939)

Ramdohr,P. Die Erzmineralien und ihre Verwachsungen,Berlin (1960)

Rittmann,A. Vulkane und ihre Tätigkeit,Stuttgart (1960)

Rust,W. Preliminary Notes on the Explosive Volcanism in Southeastern Missouri,Journ.of Geol.45 (1937) 48-75

Schalch,F. Das Gebiet nördlich vom Rhein (Kanton Schaffhausen,Höhgau und Schienerberg) 19.Lieferung zu den "Beiträgen der Geolog.Karte der Schweiz" (1883)

Schmidle,W. Die Geologie von Singen und der Hegau Vulkane,Singen/Hohentwiel (1946)

Seemann,R. Stratigraphische und allgemein-geologische Probleme im Obermiozän Südwestdeutschlands,N.Jb. f.Min.Geol.etc. Beilagen Bd.LXIII Abt.B. (1929)

Segnit,E.R. Some data on synthetic aluminous and other pyroxenes,Min.Mag. 30 (1953) 218-226

Smith,J.V.und Yoder,H.S. Experimental and Theoretical studies of the mica polymorphs,Min.Mag.31 (1956) 209-235

Strunz,H. Mineralogische Tabellen,Leipzig (1957)

Tröger,W.E. Über den Fassait und über die Einteilung der Klinopyroxene,N.Jb.f.Min.Monatshefte (1951) 132-139

Tröger,W.E. Optische Bestimmung der gesteinsbildenden Minerale,Teil 1,Bestimmungstabellen,Stuttgart (1956)

Turner,F.I.und Verhoogen,I. Igneous and Metamorphic Petrology,New York,Toronto,London (1960)

Tuttle,O.F. Optical Studies on Alkali Feldspars,Amer. Journ.of Sci.Bowen Vol.180 (1952) 553-567

Vincent,E.A.,Wright,J.B.,Chevallier,R.und Mathieu,Suzanne Heating experiments on some natural titaniferous magnetites,Min.Mag. 31 (1956) 624-655

Wilkinson,J.F.G. Clinopyroxenes of Alkali-Olivine-Basalt Magma,Amer.Min. 41 (1956) 724-743

Winchell,A.N. Variations in Composition and Properties of the Calciferous Amphiboles,Amer.Min. 30 (1945) 27-50

Winchell,A.N. Elements of Optical Mineralogy,II Description of Minerals,New York (1951)

Yoder,H.S.und Eugster,H.P. Phlogopite synthesis and stability range,Geochim.et Geochosm.Acta 6 (1954) 157-187

Lebenslauf

Am 28.5.1936 wurde ich, Franz Ernst Dietbert KNÖFEL, als zweiter Sohn des Regierungsrates Trudo Knöfel und seiner Ehefrau Liesbeth, geb. Wenzel, in Ebersbach/Krs. Löbau geboren. Meine Schulbildung erhielt ich von 1942 bis 1950 an der Volksschule und von 1950 bis 1954 an der Oberschule in Pirna/Sa. Nachdem ich das Abitur bestanden hatte, besuchte ich zwei Semester die Bergbau-Ingenieur-Schule in Senftenberg/NL. 1955 übersiedelte ich in die Bundesrepublik Deutschland. Die Anerkennungsprüfung des Ost-Abiturs legte ich im Oktober 1955 in Rotenburg/Bremen ab.

Im Wintersemester 1955/56 begann ich an der Georg-August-Universität Göttingen das Studium der Geologie und legte im Frühjahr 1958 die Diplom-Geologen-Vorprüfung ab. Seit Mai 1958 studiere ich an der Eberhard-Karls-Universität zu Tübingen. Im Sommersemester 1959 und im Wintersemester 1959/60 vertrat ich die Fachschaft Geologie/Mineralogie im Allgemeinen Studentenausschuß der Universität Tübingen. Unter Anleitung von Herrn Prof. Dr. W. v. Engelhardt begann ich im Oktober 1959 meine Dissertation über das Thema "Der Tuff des Heilsberges bei Gottmadingen/Hegau". Seit November 1960 bin ich als wissenschaftlicher Hilfsassistent am Institut für Mineralogie und Petrographie tätig.

Im April 1960 heiratete ich Fräulein Uta Schwartz. Wir haben eine Tochter.

Meine akademischen Lehrer waren: Prof. Dr. Bartels (Geophysik), Prof. Dr. Bederke (Geologie), Prof. Dr. Correns (Mineralogie), Prof. Dr. v. Engelhardt (Mineralogie), Prof. Dr. Firbas (Botanik), Prof. Dr. Glemser (Chemie), Prof. Dr. Harder (Botanik), Prof. Dr. Henke (Zoologie), Prof. Dr. Hilsch (Physik), Prof. Dr. Möllenstedt (Physik), Prof. Dr. Rüdorff (Chemie), Prof. Dr. Schindewolf (Paläontologie), Prof. Dr. Schönenberg (Geologie), Prof. Dr. Schott (Geologie), Prof. Dr. Wagner (Geologie), Prof. Dr. Zemann (Mineralogie).

Fotodruck Frau Elly HUTH Tübingen